

Aus dem Med. Zentrum für operative Medizin
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. A. Wilke
Klinik für Unfall- u. Wiederherstellungschirurgie
Direktor: Prof. Dr. L. Gotzen

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
und des Universitätsklinikums Gießen und Marburg, Standort Marburg

Pilon-tibial-Frakturen: Behandlung, Komplikationen und Ergebnisse

Nachuntersuchungen von Patienten der Klinik für Unfallchirurgie der
Philipps-Universität Marburg unter besonderer Berücksichtigung von zwei
unterschiedlichen Operationsverfahren

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Lilian De Muynck, geb. Geilenkeuser aus Jugenheim

Marburg 2005

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 06.10.2005

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. B. Maisch

Referent: Prof. Dr. F. Baumgaertel

Korreferent: Prof. Dr. A. Wilke

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG.....	1
1 STAND DER LITERATUR ZUR PILON-TIBIAL-FRAKTUR	2
1.1 BETEILIGTE ANATOMISCHE STRUKTUREN	2
1.2 DEFINITION UND ABGRENZUNG	4
1.3 UNFALLURSACHE UND ENTSTEHUNGSMECHANISMUS.....	7
1.4 FRAKTURMORPHOLOGIE	8
1.5 FRAKTURKLASSIFIKATIONEN.....	10
1.5.1 <i>Frakturklassifikation nach dem ABC-Prinzip der AO</i>	14
1.6 DIAGNOSTIK.....	20
1.6.1 <i>Klinische Untersuchung</i>	20
1.6.2 <i>Röntgenuntersuchung</i>	20
1.6.3 <i>Schichtbilder</i>	20
1.7 SPEZIELLE PROBLEMATIK BEI DER BEHANDLUNG.....	21
1.8 ÜBERBLICK ÜBER DIE BEHANDLUNGSMETHODEN	23
1.9 OPERATIONSTAKTIK DER AO: DIE KONVENTIONELLE OSTEOSYNTHESE	24
1.10 ALTERNATIVE METHODEN ZUR KONVENTIONELLEN OSTEOSYNTHESE.....	27
1.11 DIE “BIOLOGISCHE” OSTEOSYNTHESE	28
1.12 FRAGESTELLUNG DIESER ARBEIT	31
1.13 ZIELSETZUNG	31
2 METHODIK.....	33
2.1 NACHUNTERSUCHUNG	33
2.1.1 <i>Subjektive Kriterien</i>	33
2.1.2 <i>Klinische Kriterien</i>	34
2.1.3 <i>Radiologische Kriterien</i>	34
2.2 KRITERIEN FÜR DIE GESAMTEINSTUFUNG.....	35
2.3 STATISTISCHE METHODE	35
2.4 OSTEOSYNTHESE-TECHNIK.....	36
3 ERGEBNISSE.....	37
3.1 UNFALLURSACHE.....	37
3.2 BEGLEITVERLETZUNGEN	37
3.3 SCHWEREGRADEINTEILUNG NACH DEM ABC-PRINZIP DER AO.....	41
3.4 OPERATIVE BEHANDLUNG.....	41
3.5 KOMPLIKATIONEN.....	45
3.5.1 <i>Allgemeine Komplikationen</i>	45
3.5.2 <i>Knöcherne Komplikationen</i>	46
3.5.3 <i>Sekundäre Eingriffe</i>	47
3.6 ERGEBNISSE DER NACHUNTERSUCHUNG.....	51
3.6.1 <i>Subjektive Ergebnisse</i>	51
3.6.2 <i>Klinische Ergebnisse</i>	54
3.6.3 <i>Radiologische Ergebnisse</i>	59
3.6.4 <i>Gesamtergebnisse</i>	62
3.7 STATISTISCHE BERECHNUNGEN	65
3.7.1 <i>Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman</i>	65
3.7.2 <i>Wilcoxon-Mann-Whitney Test</i>	67
3.8 FALLÜBERSICHT	70
3.9 KASUISTIK	74
4 DISKUSSION	85
4.1 DISKUSSION DER METHODIK	85
4.1.1 <i>Subjektive Kriterien</i>	85
4.1.2 <i>Klinische Kriterien</i>	85
4.1.3 <i>Radiologische Kriterien</i>	86
4.1.4 <i>Statistische Berechnungen</i>	87
4.2 DISKUSSION DER ERGEBNISSE.....	87
4.2.1 <i>Diskussion der Komplikationen</i>	87

4.2.2	<i>Diskussion der subjektiven, klinischen und radiologischen Ergebnisse</i>	95
4.3	DISKUSSION DES VERGLEICHES VON KONVENTIONELLER MIT „BIOLOGISCHER“ OSTEOSYNTHESE	99
5	ZUSAMMENFASSUNG	102
6	ZUKUNFT IN DER BEHANDLUNG DER PILON-TIBIAL-FRAKTUR	105
7	LITERATURVERZEICHNIS	106
8	ANHANG	116
8.1	UNTERSUCHUNGSBÖGEN.....	116
8.2	DEFINITION UND RANGSKALEN DER VARIABLEN	121

Einleitung

Die Pilon-tibial-Fraktur bietet nach wie vor eine biologische und bio-mechanische Herausforderung für den behandelnden Unfallchirurgen. Nur eine Balance zwischen Biologie (Frakturheilung) und Biomechanik (Stabilisierung) ermöglicht einen komplikationsarmen Verlauf und beugt einer posttraumatischen Arthrose vor.

Die folgende Arbeit befasst sich mit der Gegenüberstellung von zwei Ansätzen in der Behandlung von Pilon-tibial-Frakturen. Die eine betont das eher „biologische“ Vorgehen, die andere bevorzugt ein mehr mechanistisches Vorgehen.

1 Stand der Literatur zur Pilon-tibial-Fraktur

1.1 Beteiligte anatomische Strukturen

Die Querschnittsfläche der Tibia verbreitert sich gelenknah zu einem fast quadratischen Trapezoid, dessen kürzeste Seite lateral liegt. Die Tibia artikuliert über die vierseitige Facies articularis inferior mit der Trochlea tali. Vorder- und Hinterrand weichen nach lateral etwas auseinander, so dass der mediale Flächenabschnitt schmaler wird als der laterale. Insgesamt ist die Gelenkfläche schwach konkav, trägt aber in der Mitte einen sagittal eingestellten stumpfen First. Die Facies articularis malleoli tibiae geht mit einer engen Krümmung von der unteren tibialen Gelenkfläche in einem Winkel von ca. 110° ab. Bezogen auf die Längsachse des Fußes ist sie sagittal ausgerichtet.

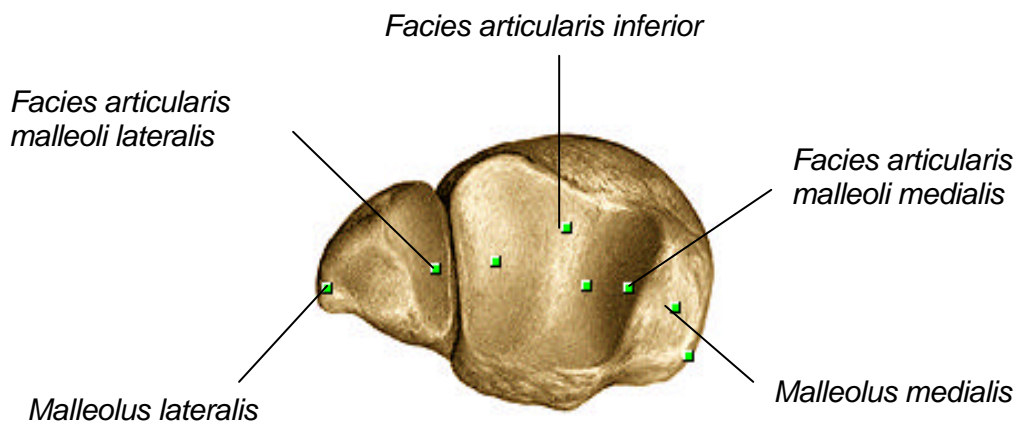


Abb. 1 Tibia und Fibula des rechten Beines, Ansicht von distal

Die Facies articularis malleoli fibulae ist in sich gekrümmt. Von einer proximalen sagittalen Zone aus, die mit der Facies articularis inferior tibiae in einem rechten Winkel steht, ist sie in einem flachen Bogen nach distal bis zu einem Winkel von ca. 120° zur unteren Tibiagelenkfläche hin gewölbt.

Den größten Anteil der talaren Gelenkflächen macht die Facies superior aus, deren hinterer Abschnitt sich verjüngt. Die Facies malleolaris lateralis ist annähernd vertikal in der Längsachse des Fußes ausgerichtet und weist eine

scharfe rechtwinklige Kante zur Facies superior auf. Im Gegensatz dazu ist die Facies malleolaris medialis in einem stumpfen Winkel gegen die Facies superior eingestellt. Entsprechend der Firstbildung der Facies articularis inferior der Tibia weist die Talusrolle eine flache, sagittal ausgerichtete Rinne auf.

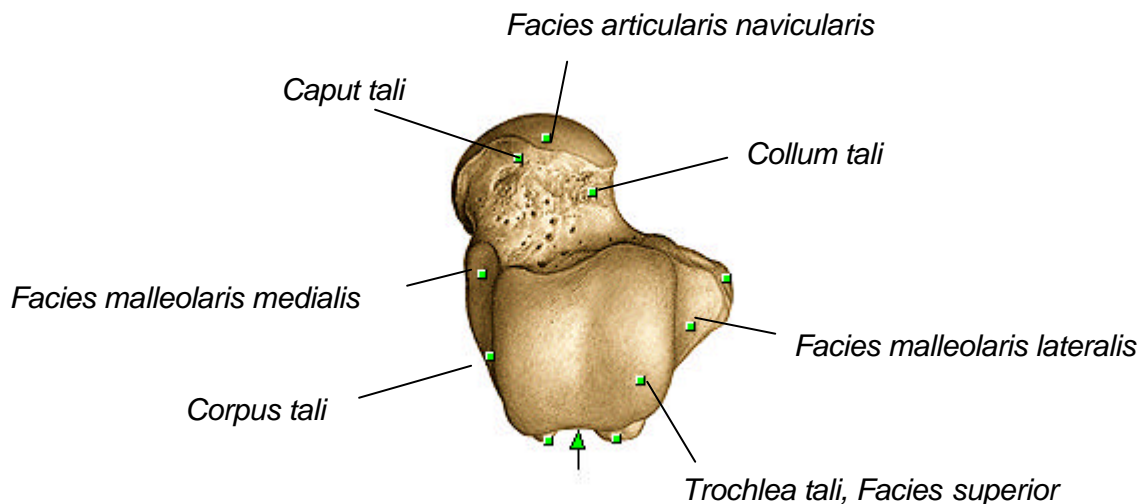


Abb. 2 rechter Talus, Ansicht von proximal

Zu den tibiofibularen Verbindungen zählen als Fortsetzung der Membrana interossea cruris die beiden Syndesmosenbänder, die Ligg. Tibiofibularia anterius und posterius. Das vordere Band ist das schwächere. Bei Spreizung der tibiofibularen Gabel in der Endstellung der Dorsalflexion dehnt sich aufgrund der Rotation des Malleolus fibulae in erster Linie das hintere Band.

Der mediale Bandapparat des Sprunggelenkes wird vom Lig. deltoideum aufgebaut, das proximal die Spitze des Malleolus medialis umgreift. An lateralen Bändern stabilisieren das Lig. talofibulare anterius, das Lig. talofibulare posterius und das Lig. calcaneofibulare das Gelenk. Das Lig. deltoideum verhindert in erster Linie ein mediales Abknicken des Fußes bei Varusbeanspruchung, hingegen begrenzen die lateralen Bänder einerseits die Rotation der Fibula und dämpfen andererseits die Endphasen der Sagittalflexion (Heim, 1991).

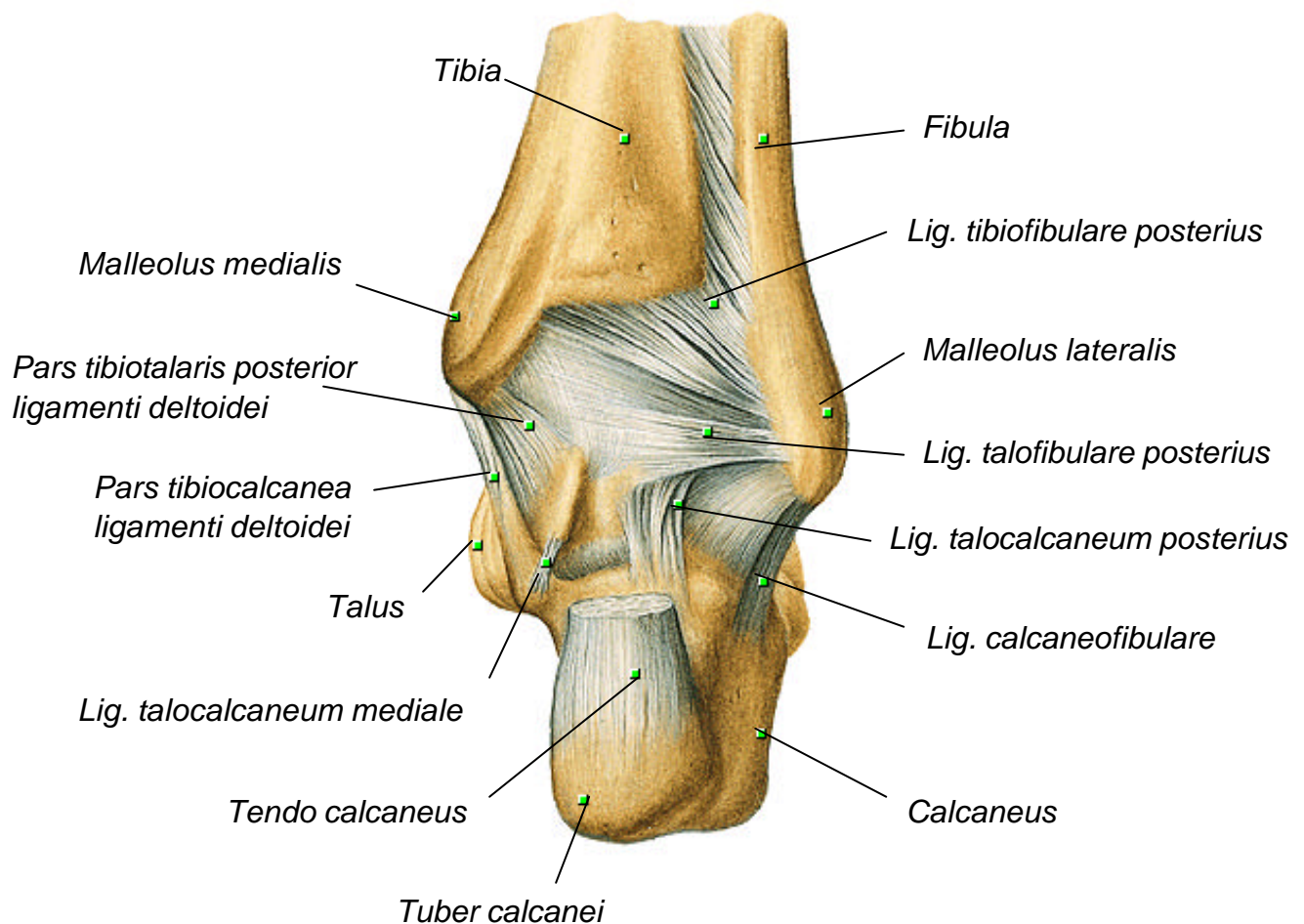


Abb. 3 distales Tibiofibulargelenk und oberes Sprunggelenk, Ansicht von dorsal

1.2 Definition und Abgrenzung

Der Begriff „Pilon“ kommt aus dem Französischen und bedeutet „Mörserkolben“. Dieser Ausdruck wurde von dem Röntgenologen Destot (1911) für die distalen intraartikulären Tibiafrakturen eingeführt, um die Brüche der tragenden Gelenkfläche von den Malleolarfrakturen abzugrenzen. Im deutschen Sprachraum wurden sie als „Stauchungsbrüche des distalen Schienbeinendes“, in der englischsprachigen Literatur als „fractures of the tibial plafond“ (Bonnin 1950) bezeichnet, der Begriff „Pilon-tibial-Fraktur“ hat sich jedoch international durchgesetzt. Er beschreibt die Besonderheit dieser Verletzung, bei der die Talusrolle durch vertikale Krafteinwirkung in das mörserähnliche distale Schienbeinende gedrückt wird.

Die Häufigkeit dieser Fraktur variiert je nach Einzugsgebiet des Krankenhauses. Ihr Anteil an den Tibiafrakturen wird von Reimers (1953) mit 2 - 4%, von Rüedi et al. (1968) mit 5%, von Heim u. Näser (1976) mit 10 - 15%, von Rüter (1978) mit 10%, von Möller u. Krebs (1982) mit 2,6%, von Bourne et al. (1983) mit 7%, von Mast et al. (1988) mit 1 - 10% und von Folwaczny u. Sturmer (1999) mit 3% angegeben. Ihr Anteil an den Knöchelfrakturen beträgt bei Hendrich u. Sieweke (1993) 6,2%. Sie ist eine relativ seltene Verletzung.

Problematisch war schon immer die Abgrenzung zu den Malleolarfrakturen, bei denen die tragende Gelenkfläche unbeschädigt bleibt (der Innenknöchel gehört nicht dazu) und nur umgebende Strukturen verletzt sind. Eine Schlüsselrolle spielen hierbei posterolaterale Kantenabscherungen (sogenanntes „Volkman-Dreieck“). Es überwiegt die Zahl der Autoren, die hintere Kantenabbrüche nur dann als Tibiafrakturen ansehen, wenn sie in der Sagittalen mindestens ein Drittel der Gelenkfläche ausmachen (Böhler 1951, Decoulx et al. 1961, Jahna et al. 1979, Macek 1984, Reimers 1953, Rüedi et al. 1968).

Berücksichtigt man die Definition der Gelenkfrakturen, die durch eine Verletzung der tragenden Gelenkfläche charakterisiert sind (Spaltungen, Impressionen), und ordnet man die Verletzungen der umgebenden Strukturen diesem Hauptmerkmal unter, so lässt sich der Großteil der Brüche einteilen. Echte Rupturen der Syndesmosenbänder sind bei der Pilon-tibial-Fraktur selten. Die Fibula frakturiert und wird in die Dislokation der Tibia mitgerissen, weil sie mit dieser durch die intakten Syndesmosenbänder verbunden bleibt. Ist die Fibula bei grob dislozierter artikulärer Tibiafraktur intakt, so bleiben in der Regel über Syndesmosenbänder noch Tibiafragmente mit ihr verbunden. Risse des fibulotalaren oder fibulocalcarearen Bandapparates sind nicht ungewöhnlich und kommen bei intakter Fibula oder bei nicht dislozierter Fibulaquerfraktur vor. Der Talus ist dann entweder nach medial oder proximal verschoben. Risse des Lig. deltoideum sind ein Kennzeichen der Malleolarfrakturen und bei den distalen Tibiafrakturen nicht zu finden. Brüche des Innenknöchels hingegen sind häufige Begleitverletzungen von Pilon-tibial-Frakturen.

Heim (1991) stellte eine Reihe von hilfreichen Unterscheidungskriterien für die verbleibenden Grenzfälle auf:

Frakturen am anterolateralen „Tubercule de Tillaux-Chaput“

Kleine Abrissfragmente des vorderen Syndesmosenbandes am ventralen Tuberkel sind extraartikulär und werden den Malleolarfrakturen zugeordnet. Größere, eindeutig artikuläre Fragmente werden als Pilon-tibial-Fraktur aufgefasst.

Abscherungen des posterolateralen Kantendreiecks („Volkmann-Dreieck“)

Sie werden zu den Malleolarfrakturen gerechnet, wenn zusätzlich eine typische Fibulafraktur (schräg intraligamentär wie bei der Typ-B-Malleolarfraktur oder diaphysär in Kombination mit einem Abriss des Innenknöchels oder einem Riss des Lig. deltoideum) gemeinsam mit einem Syndesmosenriss (Gabelsprengung) vorliegt. Diese Zusammenstellung wird auch als „Trimalleolarfraktur“ bezeichnet. Die dorsolateralen Kantenfragmente sind oft kurz und schräg.

Sie zählen als Pilon-tibial-Frakturen, wenn die Fibula intakt ist oder gleichzeitig eine oft zentral gelegene Impression der Tibiagelenkfläche besteht. Vertikale, weit nach proximal reichende dorsale Fragmente gehören ebenfalls dazu und lassen sich mit den ventralen Kantenabbrüchen vergleichen. Ebenso sprechen zusätzliche Spaltungen der tragenden Gelenkfläche in einer anderen Ebene oder eine horizontale Fraktur des Innenknöchels bei nicht diaphysärer Fibulafraktur für eine Pilon-tibial-Fraktur.

Posteromediale Tibiakantenabbrüche

Sie gelten als Knöchelfraktur, wenn sie mit einem Riss des fibulotalaren Bandapparates oder mit einer infraligamentären Abrissfraktur des Außenknöchels kombiniert sind. Zu den Pilon-tibial-Frakturen gehören sie, wenn sie das hintere Tuberkel nicht erfassen, sondern schräg verlaufen und medial in den Innenknöchel hinein reichen.

Auch die Abgrenzung von den extraartikulären Frakturen der Tibiametaphyse war lange nicht einheitlich. Hourlier (1981) und Songis-Mortreux (1975) schlossen die supramalleolären Frakturen mit Ausstrahlung in die Gelenkfläche in Form einer nicht verschobenen Gelenkfissur von ihrem Patientenkollektiv aus, während Rüedi et al. (1968), Jahna et al. (1979) und Bertrand et al. (1983) sie einbezogen. Müller

et al. (1987) konnten mit ihrer AO¹-Klassifikation der langen Röhrenknochen Klarheit zu dieser Frage schaffen, wonach reine Fissuren (ohne Dislokation) als nicht artikulär gelten und demnach nicht zu den Pilon-tibial-Frakturen gehören.

1.3 Unfallursache und Entstehungsmechanismus

Wenngleich die axiale Stauchung des distalen Schienbeinendes fast immer an der Bruchentstehung beteiligt ist, handelt es sich meistens um ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Mechanismen. Das Ausmaß der Zerstörung (von Knochen, Gelenkknorpel und Weichteilen) wird entscheidend durch den Entstehungsmechanismus beeinflusst, der entsprechend der Unfallursache variieren kann. Neben der typischen axialen Krafteinwirkung (z.B. beim Sturz aus der Höhe oder beim Frontalzusammenstoß im Straßenverkehr) können auch direkte Gewalteinwirkung oder Abscher-, Biege-, und Torsionskräfte beteiligt sein. Während sich bei manchen Studien das Patientenkollektiv vor allem aus Skiunfällen (Beck 1993, Comminot 1981, Heim 1972, Näser 1977, Resch et al. 1986b, Rüedi et al. 1968) und sonstigen Sportverletzungen (Etter u. Ganz 1991) zusammensetzt, überwiegen bei anderen Ursachen wie Stürze aus der Höhe (Ayeni 1988, Bertrand et al. 1983, Börner 1982, Bone et al. 1993, Bourne et al. 1983, Breitfuß et al. 1988, Helfet et al. 1994, Jahna et al. 1979, Kellam u. Waddell 1979, Lamprecht u. Ochsner 1984, Leone et al. 1993, Macek 1984, Müller u. Prescher 1978, Nast-Kolb et al. 1993, Tornetta et al. 1993, Waddell 1993), Verkehrsunfälle (Bonar u. Marsh 1993, Dillin u. Slabaugh 1986, Hendrich u. Sieweke 1993, Hourlier 1981, Mischkowsky u. Dichgans 1980, Muhr u. Breitfuß 1993, Rommens et al. 1994, Teeny u. Wiss 1993) und Arbeitsunfälle (Songis-Mortreux 1975, Welz 1982).

Bandi analysierte 1970 die Biomechanik bei der Pilon-tibial-Fraktur des Skifahrers. Er erklärte das häufige Vorliegen einer komplexen Komponente in der Metaphyse (supramalleoläre Impaktion) bei dieser Fraktur durch die Einwirkung unterschiedlicher Kräfte zum Unfallzeitpunkt. An der Entstehung ist eine Kombination von Biegung, Abscherung und Kompression beteiligt, wobei der Zuggurtungseffekt der Wadenmuskulatur von Bedeutung ist. Die klassische Frakturform des Skifahrers besteht aus einer Kombination von einfacher Spaltung

¹ AO = Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen

der Gelenkfläche und Impaktion in der Metaphyse, sie entspricht den C2.1-Frakturen nach der AO-Klassifikation (s. Kap. 1.5.1).

Müller u. Prescher (1978) unterschieden drei unfallmechanische Gruppen, die zu einem Bruch des Pilon tibiale führen können:

1. Stauchung des Beines in der Längsachse mit Zermörserung der Gelenkpfanne des oberen Sprunggelenkes als indirekte Frakturform (Sprung oder Sturz aus der Höhe)
2. (Zer-)Quetschung des Unterschenkels und des Fußes durch direkte erhebliche äußere Gewalteinwirkung (Arbeitsunfälle, Verkehrsunfälle)
3. Verrenkungsmechanismus im oberen Sprunggelenk mit forcierter axialer oder torquierender Kraftkomponente (Sturz beim Skisport, Treppeabspringen mit Umknicken, Fehltritt in eine Vertiefung mit Sturz)

Die Autoren wiesen darauf hin, dass diese unfallmechanischen Gruppen regelmäßig mit typischen Weichteilverletzungen einhergehen:

1. Durchspießung oder Rissverletzung, auch geschlossener Weichteilschaden
2. ausgedehnte Traumatisierung, geschlossene Weichteilkontusion
3. selten offene Frakturen, übliches Frakturhämatom mit Schwellung

Helfet et al. (1994) vereinfachten die Unfallgruppen, indem sie bei der Frakturentstehung lediglich geringere Gewalteinwirkung („lower energy injury“) von höherer Gewalteinwirkung („higher energy injury“) unterschieden. Zu der ersten Kategorie zählen Stürze und Sportverletzungen (z.B. Skiunfälle), zu der zweiten Stürze aus der Höhe oder Verkehrsunfälle. Sie etablierten damit ein in der englischsprachigen Literatur verbreitetes Prinzip der Einteilung.

1.4 Frakturmorphologie

Heim hat 1991 unabhängig von der Unfallursache die möglichen Bestandteile einer Pilon-tibial-Fraktur analysiert. Sie können je nach dem Schweregrad des Bruches in unterschiedlicher Kombination vorhanden sein.

Die artikulären Frakturen gliederte er in die Brüche mit partieller Verletzung der Gelenkfläche, wo die anatomische Verbindung zwischen einem Gelenkanteil zur Diaphyse erhalten bleibt, und in die vollständigen (zirkulären) Brüche, bei denen dieses Kriterium nicht gegeben ist.

Auf der Ebene der Tibiagelenkfläche kann man 3 grundlegende Verletzungsarten auseinanderhalten: die Spaltung, die Impression und die Dissoziation der Gelenkfläche. Spaltbrüche können 3 verschiedene Dislokationen aufweisen (Stufenbildung, Klaffen oder Verwerfung = Drehung), welche sich prinzipiell alle durch äußere Repositionsmanöver (Zug am Bandapparat oder Schub- bzw. Druckausübung) beseitigen lassen.

Im Gegensatz hierzu verursachen Impressionen durch ein Zusammendrücken der darüberliegenden Spongiosa Defekte oder die imprimierten Anteile der Gelenkfläche liegen eingeklemmt zwischen umgebenden Fragmenten, die auseinander gedrängt wurden. Daher kann ein Imprimat nicht von außen reponiert werden, sondern bedeutet die Indikation zur Operation. Es ist möglich, 3 Grundformen der Impression zu unterscheiden: die Dreieckimpression, die Türflügelimpression und die Stempel- und Muldenimpression. Die Vitalität eines imprimierten Abschnittes ist immer unsicher, besonders bei der Stempelimpression, weil hier der Zusammenhang mit der knöchernen Umgebung vollständig unterbrochen ist, wohingegen bei den beiden anderen Arten jeweils eine Seite des aufgestauchten Drei- oder Vierecks mit der übrigen Gelenkfläche verbunden verbleibt und daher die Devitalisierung nicht vollständig ist.

Die Dissoziation der Gelenkfläche bezeichnet eine komplexe Verletzung der tragenden Gelenkfläche selbst, die aus multiplen, voneinander getrennten, dislozierten Elementen besteht. Es handelt sich um eine Kombination multipler Spaltungen und Impressionen mit erheblicher Devitalisierung und unterschiedlich weiter Ausdehnung nach proximal.

Gelenkfrakturen reichen immer zumindest in die Metaphyse; es ist daher sinnvoll, auch hier die typischen Merkmale zu differenzieren, die bei der Pilon-tibial-Fraktur eine Rolle spielen. Das sind grundsätzlich 2 Verletzungsmuster: die metaphysäre Impaktion und die metaphysäre Trümmerzone. Impaktionen treten bei den langen Röhrenknochen nur im metaphysären Bereich auf. Neben einer kortiko-spongiösen Impaktion, bei der dünne kortikale Schalen in die Spongiosa eindringen, gibt es auch eine spongio-spongiöse Impaktion im mittleren und distalen Bereich der Metaphyse, die an der Tibia häufiger ist (man erkennt sie im Röntgenbild an einer Verdichtung der spongiösen Struktur). Impaktionen gehen

immer mit axialen Dislokationen einher. Wird eine Impaktion durch Reposition beseitigt, so entfaltet sich ein spongiöser Defekt und die Fraktur wird instabil.

Die metaphysäre Trümmerzone ist bei artikulären Frakturen mit einer Spaltung der Gelenkfläche kombiniert. Sie ist nur bei den vollständigen zirkulären Frakturen möglich, bei partiellen Frakturen wird von „mehrfachen Frakturlinien in der Metaphyse“ (multiple Spaltungen) gesprochen.

Abgesehen von den morphologischen Merkmalen der Gelenkfläche und der Metaphyse ist noch eine weitere Möglichkeit zu berücksichtigen: die Ausdehnung der Fraktur in die Diaphyse, wobei sich mindestens ein Fragment mehrheitlich in der Diaphyse befindet. Dies kommt bei vollständigen Frakturen häufig vor und bedeutet eine Erschwernis für die Bruchstabilisierung.

Die aufgezählten Elemente bilden die Grundlage für die Klassifikation nach dem ABC-Prinzip der AO (s. Kap. 1.5.1).

1.5 Frakturklassifikationen

Es existieren im Schrifttum eine Vielzahl von Einteilungen, von denen heute angesichts der durchlaufenen Veränderungen in der Behandlung dieser Frakturen viele nur noch geschichtliche Bedeutung haben. Die Vielfalt ist durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Patientenkollektive und die jeweiligen Behandlungsansätze zu erklären. Mit dem Wandel von konservativer zu operativer Therapie kamen neue Einteilungsversuche auf.

Destot (1911) hatte bereits die prognostische Bedeutung einer intraartikulären Verletzungskomponente bei den Malleolarfrakturen erkannt. Lauge-Hansen (1948, 1953) untersuchte die verschiedenen Unfallmechanismen an Leichenbeinen. Seine genetische Klassifikation bildete die erste Grundlage für die konservative Behandlung (Reposition und Retention). Die Darstellungen von Böhler (1951) orientierten sich am Unfallmechanismus (Drehung, Abscherung, Stauchung, Biegung). Seine Schüler Trojan und Jahna untersuchten bis 1953 330 Fälle von intraartikulären Stauchungsbrüchen des distalen Schienbeinendes und stellten dabei mit Blick auf die Extensionsbehandlung wiederkehrende Bruchtypen fest, die im Rückblick teilweise den Malleolarfrakturen zuzuordnen wären (Jahna et al. 1979).

Gay u. Évrard (1963) veröffentlichten eine Klassifikation, die in der französischen Literatur bis heute verbreitet ist. Eine Gruppe bestand überwiegend aus

posterolateralen Kantenfragmenten im Sinne von „Trimalleolarfrakturen“. Die praktische Bedeutung der Einteilung ist beschränkt.

Weber hat 1966 in einer Monographie über die Verletzungen des oberen Sprunggelenkes (2. Aufl. 1972), die hauptsächlich den Malleolarfrakturen gewidmet war, ein Schema zur Klassifikation distaler Tibiafrakturen abgebildet, wobei er drei Formen von intraartikulären Stauchungsbrüchen unterschied. Er zeigte außerdem, dass bei axialer Stauchung des distalen Unterschenkelendes die Bruchform von der Haltung des Fußes abhängt (Abb. 4).

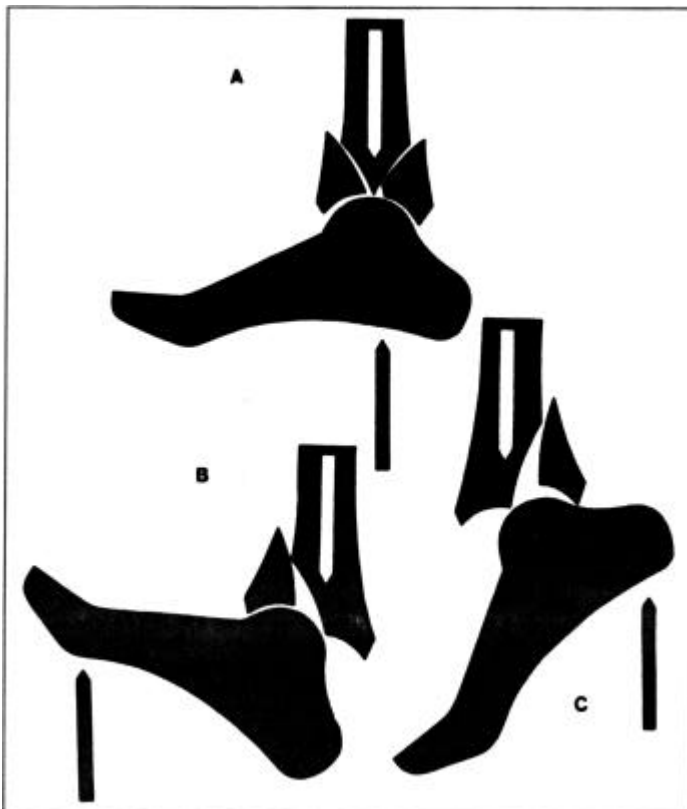


Abb. 4 Unterschiedliche Bruchformen der Tibiagelenkfläche bei axialer Stauchung je nach Fußhaltung: A) Fuß in neutraler Position; B) Fuß in Dorsalflexion; C) Fuß in Plantarflexion (aus Weber 1972).

1976 stellten Heim u. Näser (s. auch Näser 1977) eine Gliederung vor, die ebenfalls Skiverletzungen zu Grunde legte und wegen ihrer Einfachheit von anderen Autoren aufgenommen wurde. Der Vielfalt der Frakturen, die sich unter dem Begriff der Pilon-tibial-Fraktur sammeln, trug sie nur ungenügend Rechnung.

Rüedi et al. veröffentlichten 1968 eine erste Klassifikation, die auf der Pilon-tibial-Fraktur des Skifahrers basierte. Die Autoren hatten mit Hilfe von 8 Kriterien ein Punktesystem aufgestellt, das erstmalig neben der Frakturprognose vor allem die zu erwartenden operationstechnischen Schwierigkeiten widerspiegelt und somit ganz auf die operative Behandlung ausgerichtet war. 1978 veröffentlichten sie eine vereinfachte Einteilung, die sie in der englischen Übersetzung 1979 mit einer zusätzlichen Zeichnung veranschaulichten. Sie ließ sich auch schon im „Manual der Osteosynthese“ (Müller et al. 1977) finden und wurde seither in der internationalen Literatur häufig gebraucht. Folgende drei Frakturtypen sind definiert (Abb. 5):

- I. *Spaltbrüche der distalen Tibia ohne wesentliche Dislokation der Gelenkfläche*
- II. *Spaltbrüche mit Stufenbildung der Gelenkfläche*
- III. *mehrstufige Verwerfung der Gelenkfläche mit metaphysärer Trümmerzone*

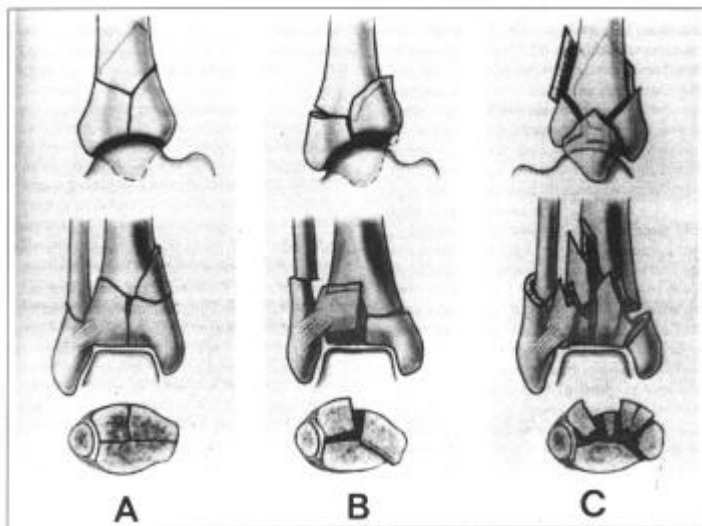


Abb. 5 Einteilung der Pilon-tibial-Frakturen (aus Rüedi u. Allgöwer 1979)
Es sind nur vollständige (zirkuläre) Frakturen abgebildet.

Jahna et al. machten 1979 für die konservative Behandlung mittels Kalkaneusextension einen neuen Klassifikationsvorschlag, bei dem sie bewusst den Bruchzustand außerhalb der Schienbeingelenkfläche unbeachtet ließen:

Schweregrad I = *Gelenk ohne Verschiebung und Stufe* (kleine zentrale Impressionen und supramalleoläre Trümmerzonen sind inbegriffen)

Schweregrad II = *Stufen im Gelenk ohne Subluxation des Sprungbeines* (auch größere zentrale Impressionen sind inbegriffen)

Schweregrad III = *Stufen im Gelenk mit Subluxation des Sprungbeines und/oder starke Verwerfung oder Zertrümmerung der Gelenkfläche*

Risse des distalen lateralen Bandapparates mit medialer Subluxation des Talus und Diastase zwischen Fibulagelenkfläche und Talusrolle bedeuteten eine erschwerte Reposition bei der Extensionsbehandlung. Impressionen der Gelenkfläche und komplexe Bruchformen in der Metaphyse, die die operative Wiederherstellung komplizieren, spielten keine Rolle.

Vivès et al. (1984) und Hourlier (1981) unterteilten die Pilon-tibial-Frakturen nach dem Kriterium, ob die Verbindung zwischen distaler Epiphyse und Tibiaschaft unterbrochen wurde, außerdem berücksichtigten sie noch den Zustand der Gelenkfläche (einfach oder komplex). Die komplexen Frakturen zeichneten sich durch eine Impression der Gelenkfläche aus:

1. *vollständige Frakturen („fractures complètes“)*
„simples“ oder „complexes“
2. *partielle Frakturen („fractures incomplètes“)*
„simples“ oder „complexes“

Verschiedene Autoren (Kellam u. Waddell 1979, Maale u. Seligson 1980, Mast et al. 1988, Möller u. Krebs 1982, Ovadia u. Beals 1986, Pierce u. Heinrich 1979) unternahmen eigene Klassifikationsversuche, die sich an früheren Einteilungen orientierten.

Rüedi (1983 und 1984) veröffentlichte eine Klassifikation, die in Analogie zu anderen Gelenkbrüchen die Frakturen erstmalig nach dem ABC-Prinzip der AO gliedert. Typ A entspricht den extraartikulären distalen Tibiafrakturen, Typ B schließt alle Brüche mit intraartikulärem Frakturverlauf ein, die keine eigentliche Eintauchung der Gelenkfläche (Impression) aufweisen. Die C-Frakturen sind durch eine Eintauchung (Impression) der Gelenkfläche gekennzeichnet.

Müller et al. (1987) haben im Rahmen ihrer Einteilung, die sämtliche langen Röhrenknochen erfasst, auch die Frakturen des distalen Tibiasegmentes

dargestellt. Diese Klassifikation nach dem ABC-Prinzip der AO, die auch bei Heim u. Pfeiffer (1988) zu finden ist, vollzieht die entscheidende Trennung der partiellen von den vollständigen artikulären Frakturen. Die Gruppe A bezeichnet nach wie vor die extraartikulären Frakturen, Gruppe B die artikulären Brüche mit partieller Verletzung der Gelenkfläche (der erhaltene Gelenkanteil bleibt in anatomischer Verbindung zur Diaphyse) und Gruppe C die zirkulären Gelenkverletzungen. Impressionen führen bei den B-Frakturen zur Untergruppe B2, partielle artikuläre Trümmer zur Untergruppe B3. Bei den C-Frakturen werden die metaphysäre Eintauchung (C2) und die artikuläre Trümmerzone (C3) unterschieden.

1.5.1 Frakturklassifikation nach dem ABC-Prinzip der AO

Heim verdanken wir eine 1991 veröffentlichte Klassifikation nach dem ABC-Prinzip der AO, die aus einer Analyse von 1077 distalen Tibiafrakturen (680 intraartikulär) der AO-Dokumentationszentrale entstanden ist. Sie weist gegenüber der vorhergehenden Klassifikation bei einzelnen Untergruppen geringfügige Veränderungen auf. Ursprünglich wurden alle distalen Tibiafrakturen (Segment 43) berücksichtigt, da jedoch die Pilon-tibial-Fraktur ihrer Definition nach die Gelenkfläche betrifft, sollen die unter der Gruppe A zusammengefassten extraartikulären Brüche hier weggelassen und nur die intraartikulären Frakturen erläutert werden. Die Einteilung stützt sich aus praktischen Erwägungen auf einfache Röntgenaufnahmen (a.-p. und seitlich).

B Partielle Gelenkfraktur (ein Teil der Gelenkfläche bleibt in anatomischer Verbindung zur Diaphyse)

B1 nur *Spaltung* im Gelenk

B1.1 Spalt frontal (dorsal oder ventral, seitliches Röntgenbild)

B1.2 Spalt sagittal (medial oder lateral, a.-p.-Röntgenbild)

B1.3 multiple Spalten in der Metaphyse

B2 *Impression* mit Spalt

B2.1 frontal (dorsal oder ventral, seitliches Röntgenbild)

B2.2 sagittal (medial oder lateral, a.-p.-Röntgenbild)

B2.3 multiple Spalten in der Metaphyse

B3 *Dissoziation der Gelenkfläche* (komplex)

B3.1 dorsale Wand intakt (seitliches Röntgenbild)

B3.2 laterale oder mediale Wand intakt (a.-p.-Röntgenbild)

B3.3 Ausdehnung in die Diaphyse

C Vollständige (zirkuläre) Gelenkfraktur

C1 einfache Gelenkfraktur

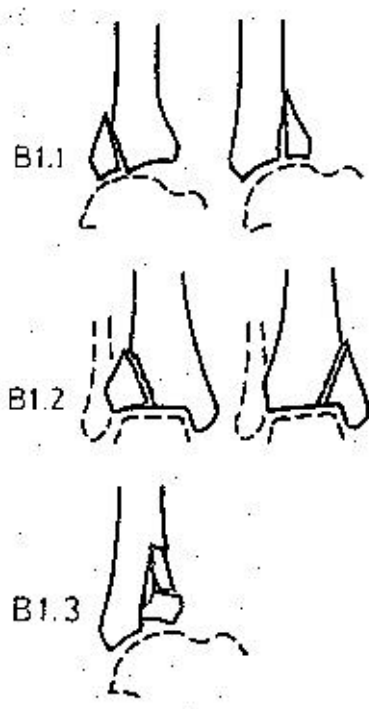
- C1.1 nur Spalt im Gelenk
- C1.2 Impression + Spalt im Gelenk
- C1.3 Verlauf in die Diaphyse

C2 Gelenkfraktur einfach, *Metaphyse komplex*

- C2.1 Gelenkspaltung (+ Impression) + Impaktion Metaphyse
- C2.2 Gelenkspaltung (+ Impression) + Trümmerzone Metaphyse
- C2.3 Gelenkspaltung (+ metaphysäre Impaktion oder Trümmerzone) + Verlauf in die Diaphyse

C3 *Dissoziation der Gelenkfläche* (komplex)

- C3.1 auf die distale Metaphyse begrenzt
- C3.2 auf die proximale Metaphyse ausgedehnt
- C3.3 in die Diaphyse verlaufend



**Abb. 6 Partielle Gelenkfrakturen B1:
nur Spaltung im Gelenk**

- B1.1 Spalt frontal
- B1.2 Spalt sagittal
- B1.3 multiple Spalten in der Metaphyse
(Heim 1991)

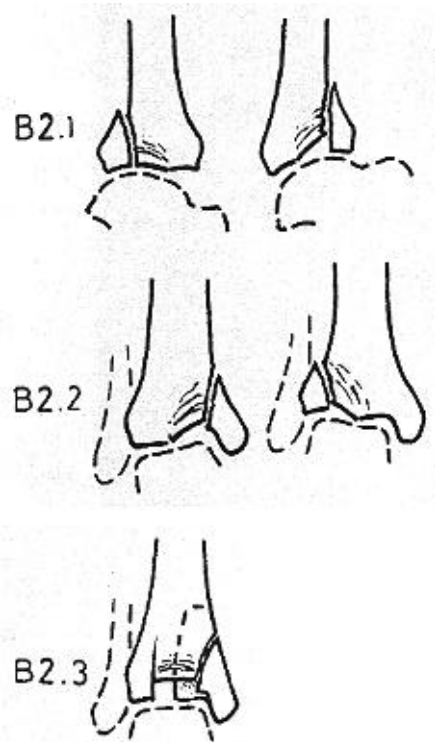


Abb. 7 Partielle Gelenkfrakturen B2:
Impression mit Spaltung

B2.1 frontal

B2.2 sagittal

B2.3 multiple Spalten in der Metaphyse
(Heim 1991)

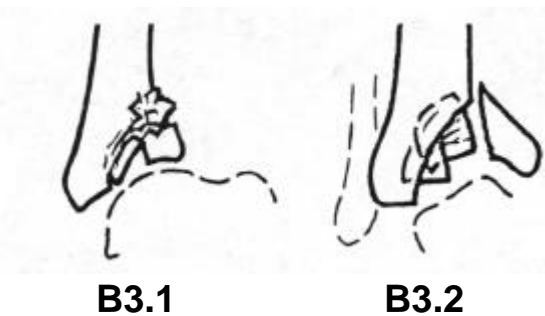


Abb. 8 Partielle Gelenkfrakturen B3:
Dissoziation der Gelenkfläche = komplex

B3.1 dorsale Wand intakt

B3.2 laterale oder mediale Wand intakt

B3.3 Ausdehnung in die Diaphyse (nicht
abgebildet)

(Heim 1991)

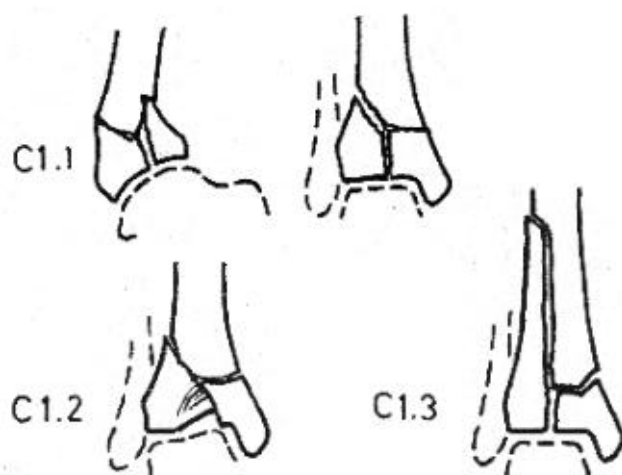
Abb. 9 Zirkuläre Gelenkfrakturen C1:
einfache Gelenkfraktur

C1.1 nur Spalt im Gelenk

C1.2 Impression + Spalt im Gelenk

C1.3 Verlauf in die Diaphyse

(Heim 1991)



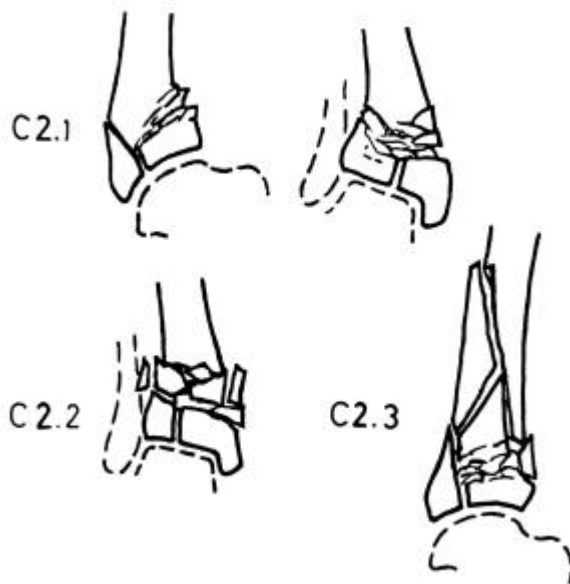


Abb. 10 Zirkuläre Gelenkfrakturen C2:

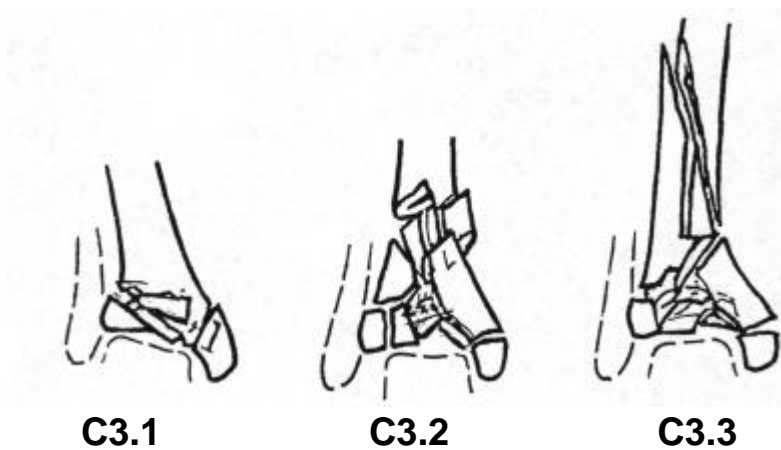
Gelenkfraktur einfach, Metaphyse komplex

C2.1 Gelenkspaltung (+ Impression) + Impaktion Metaphyse

C2.2 Gelenkspaltung (+ Impression) + Trümmerzone Metaphyse

C2.3 Gelenkspaltung (+ metaphysäre Impaktion oder Trümmerzone)
+ Verlauf in die Diaphyse

(Heim 1991)



C3.1

C3.2

C3.3

Abb. 11 Zirkuläre Gelenkfrakturen C2:

Dissoziation der Gelenkfläche = komplex

C3.1 auf die distale Metaphyse begrenzt

C3.2 auf die proximale Metaphyse ausgedehnt

C3.3 in die Diaphyse verlaufend

(Heim 1991)

1.6 Diagnostik

1.6.1 Klinische Untersuchung

Bei einer entsprechenden Unfallanamnese sollte man an die Möglichkeit einer Pilon-tibial-Fraktur denken. Die klinische Erstuntersuchung umfasst die sorgfältige Einschätzung des Weichteilschadens (offen oder geschlossen), der neurovaskuläre Zustand der Extremität muss beurteilt werden mit Sensibilität, Motorik und peripheren Pulsen. Die typische Pilon-tibial-Fraktur sieht so aus: Schwellung, Dislokation, Druck- u. Fernschmerz, reflektorische Muskelspannung und Beinlängenverkürzung. Besonders aufmerksam sollte man nach Anzeichen für ein Kompartmentsyndrom suchen, das zu Nervenschäden und Muskelnekrose führen kann. Auffällige Fehlstellungen sollten als Akutmaßnahme behoben werden, um weitere Weichteilschädigung zu verhindern.

1.6.2 Röntgenuntersuchung

Unverzichtbar sind Standardröntgenbilder (a.-p. und seitlich) des Gelenkes, die zur Einsicht des Gelenkspaltes korrekt auf das obere Sprunggelenk zentriert sein müssen. Außerdem sind in beiden Ebenen Bilder des Unterschenkels (in ganzer Länge) erforderlich, um die Ausdehnung der Fraktur und Achsenfehlstellungen zu bestimmen und eine etwaige hohe Fibulafraktur zu erkennen. Einige Autoren raten auch zur grundsätzlichen Anfertigung von Schrägaufnahmen (Bertrand et al. 1983, Helfet et al. 1994, Mast 1993), andere sehen sie als ergänzende Maßnahme (Heim 1991, Heim 1993, Mast et al. 1988, Ruwe et al. 1993).

1.6.3 Schichtbilder

Heim (1991) empfiehlt bei Verdacht auf Impressionen oder Dissoziationen der Gelenkfläche die zusätzliche Anfertigung von Tomographien, um Überlappungseffekte auszuschließen. Die Computer-Tomographie (Hahn u. Thies 2004) hat sich wegen der Möglichkeit der Darstellung in mehreren Ebenen sowie der 3D Berechnung als Schichtbildgebung der Wahl durchgesetzt. Die Intensität der Diagnostik sollte der allgemeinen Situation (z. B. polytraumatisierter Patient im Schock) und der Bruchart angepasst werden. Die CT ist bei speziellen Fragestellungen und für die Planung des operativen Vorgehens indiziert (Mainwaring et al. 1988, Tornetta et al. 1993). Sie sollte großzügig eingesetzt

werden. Die MRT (Stienstra 1994) hat in der Diagnostik der Pilon-tibial-Fraktur allenfalls eine adjunktive Funktion. Röntgenologisch nicht sichtbare Veränderungen vor allem von angrenzenden Strukturen („bone bruise“ des Talus) können dabei u.U. als Prognosefaktoren gewertet werden.

1.7 Spezielle Problematik bei der Behandlung

Die Pilon-tibial-Fraktur gehört unter Berücksichtigung der Komplikationsrate und der bleibenden Behinderung zu den folgenschwersten Verletzungen an der unteren Extremität. Sie hat eine grundlegend schlechtere Prognose als die Malleolarfraktur nicht nur wegen der schwerwiegenderen knöchernen Verletzung mit Gelenkbeteiligung und oft erheblichem Knorpelschaden (Helfet et al. 1994, Lundeen 1987, Mast et al. 1988, Rommens et al. 1994, Waddell 1993). Wegen des traumatisierenden Entstehungsmechanismus liegt häufig auch ein erheblicher Weichteilschaden vor. Hendrich u. Sieweke (1993) berichteten, dass von 2586 behandelten Malleolarfrakturen 73 (2,8%) offene Frakturen waren, während sich unter den 172 im gleichen Zeitraum versorgten Pilon-tibial-Frakturen 22 (12,8%) offene Brüche befanden. Bei anderen Autoren lag der Anteil offener Frakturen mit rund 1/3 des Kollektivs noch höher (Börner 1982, Heinrich 1979, Höntzsch et al. 1990, Hourlier 1981, Muhr u. Breitfuß 1993, Pierce u. Macek 1984, Songis-Mortreux 1975), manchmal sogar bei über 50% (Bone et al. 1993, Helfet et al. 1994). Berücksichtigt man neben offenen Frakturen auch die geschlossenen Frakturen mit Weichteilschaden, ist der Anteil insgesamt noch höher. Die Angaben variieren: 1/3 (Welz 1982), 40% (Nast-Kolb et al. 1993), 45% (Rommens et al. 1994) und 69% (Tornetta et al. 1993) werden genannt.

Pilon-tibial-Frakturen haben eine hohe Komplikationsrate, dazu gehören Nekrose der Haut und der tieferen Weichteile, tiefe und oberflächliche Wundinfektion, Kompartmentsyndrom, Sudeck-Dystrophie, Knocheninfektion (auch mit Beteiligung der Gelenkhöhle), avaskuläre Knochennekrose, ausbleibende Bruchkonsolidierung oder mangelnde Durchbauung einer Spongiosaplastik (bis hin zur Pseudarthrose), Absonderung abgestorbenen Knochenmaterials (sog. Knochensequester), Implantatversagen nach Osteosynthese, Achsendislokationen und Arthrose im oberen Sprunggelenk. Regelmäßig müssen wegen Komplikationen nicht eingeplante Weichteileingriffe (Débridement, plastische Weichteildeckungen) oder Knocheneingriffe (Débridement, Reosteosynthese,

Korrekturosteotomien, Arthrodese) vorgenommen werden (siehe Tab. 38, Seite 94).

Die Bedeutung sowohl des offenen, als auch des geschlossenen Weichteilschadens für die Frakturheilung und das Komplikationsrisiko - vor allem das Infektionsrisiko - wurde von zahlreichen Autoren hervorgehoben (Hendrich u. Sieweke 1993, Müller u. Prescher 1978, Muhr 1983, Oestern u. Tscherne 198, Rogge 1983, Rommens et al. 1994, Suren 1983, Tassler 1981, Trentz u. Friedl 1993, Tscherne u. Rojczyk 1983). Tscherne (1983) hat auf die besondere Bedeutung der Erstversorgung bei Frakturen mit Weichteilschaden hingewiesen. Darüber hinaus ist die distale Tibia wegen ihrer empfindlichen, dünnen und Knochenkanten überspannenden Weichteildecke außergewöhnlich exponiert und vulnerabel. Schweiberer et al. (1987) bezeichneten sie als „die am schlechtesten vaskularisierte und von Störungen des venösen Abstromes am häufigsten betroffene Region“ des Körpers. Auch Müller u. Prescher (1978) wiesen auf die heikle Gefäßversorgung des distalen Tibiaendes hin, die arm an Kollateralkreisläufen ist. Durch die Traumatisierung werden die Knochenfragmente aus ihrem vitalen Verband gerissen, der Druck dislozierter Fragmente, reflektorische Gefäßspasmen und traumatische Intimaschäden beeinträchtigen die Durchblutung zusätzlich. Angesichts dieser ungünstigen Ausgangsbedingungen stellt sich die Frage, in welchem Umfang Knochen und Weichteile eine zusätzliche operative Traumatisierung vertragen und Fragmente oder eingebrachte Spongiosa vaskularisiert werden können.

Das Sprunggelenk ist schon unter physiologischen Bedingungen starken Belastungen ausgesetzt: die artikulierenden Gelenkflächen sind klein und müssen Krafteinwirkungen standhalten, die dem 7fachen des Körpergewichts entsprechen (Hendrich u. Sieweke 1993). Fehlstellungen mit Reduktion der Kontaktflächen, Knorpelschädigungen oder ligamentäre Instabilitäten der Malleolengabel begünstigen eine posttraumatische Arthrose. Eine reibungslose Gelenkmechanik setzt einen exakten Schluss der Malleolengabel voraus, im Falle einer Diastase sind Instabilitäten mit Abnutzungserscheinungen am Gelenkknorpel zu erwarten (Hourlier 1981). Das obere Sprunggelenk ist anfällig für eine posttraumatische

Arthrose, und an die Rekonstruktion der Gelenkfläche sind hohe Anforderungen zu stellen (Heim 1991).

1.8 Überblick über die Behandlungsmethoden

Die Schwierigkeiten bei der Behandlung der Pilon-tibial-Fraktur spiegeln sich eindrucksvoll in der Vielzahl der bisher empfohlenen Methoden wider. Das konservative Vorgehen wurde im Laufe der Jahre weitgehend vom operativen abgelöst.

Zu den konservativen Methoden zählten die Reposition und Retention durch Gipsverband (Lauge-Hansen 1963) und die Extensionsbehandlung. Böhler (1951) und Trojan u. Jahna (1956) präsentierten anhand einzelner Fallbeispiele die Extensionsbehandlung für Pilon-tibial-Frakturen, bei der ein Steinmann-Nagel in das Fersenbein geschlagen und der Bruch im Schraubenzug reponiert wurde. Der Zug an den Weichteilen (Ligament, Periost, Sehnen) unterstützte dabei die Reposition der Fragmente. Der Zug wurde dann für 5 bis 6 Wochen aufrechterhalten. Jahna et al. (1979) verbesserten die Extensionsbehandlung, indem sie die Technik des „gezielten Fersenbeindrahtes“ einführten. Sie nannten den Draht „gezielt“, weil er im a.-p.-Bild meistens parallel zur Talusrolle (in der Transversalachse) und im seitlichen Bild (in der dorsoventralen Achse) an einer vorher bestimmten Stelle liegen soll. Die genaue Lage wird der Bruchform angepasst, damit die Zugrichtung der Fehlstellung entgegenwirkt. Nachdem der Bohrdraht eingebracht ist, wird der Extensionsbügel angelegt und Zug in Längsrichtung ausgeübt. Im Falle supramalleolärer Trümmerzonen wird eine leichte Verkürzung belassen, die auch das Wadenbein betrifft. So werden Defekte vermieden, die verzögerte Heilungen oder Pseudarthrosen begünstigen. Jahna et al. (1979) fanden bei Nachuntersuchungen von 316 mit dieser Methode behandelten Brüchen in 87% eine gute Frakturstellung, in 76% eine gute Beweglichkeit und in 47% keine posttraumatische Arthrose. Der Anteil an offenen Frakturen war mit 13% eher niedrig.

Noch 1959 vertrat Jergesen die Meinung, Pilon-tibial-Frakturen seien operativ nicht wiederherzustellen („not amenable to open reduction and internal fixation“). Angesichts der allgemein schlechten Prognose von Pilon-tibial-Frakturen (Pollak et al. 2003) wurden schon immer vereinzelt Arthrodesen durchgeführt, wenn eine rekonstruktive Osteosynthese unmöglich erschien (Couvelaire u. Rodier 1937,

Decoulx et al. 1961, Mast et al. 1988, Mischkowsky u. Dichgans 1980, Ovadia u. Beals 1986, Weber 1965). Nach bakterieller Osteoarthritis oder Osteomyelitis ist sie auch heute noch einer Amputation vorzuziehen (Brumback u. McGarvey 1995, Müller u. Prescher 1978). Die Durchführung ist operationstechnisch anspruchsvoll und sollte erst nach der Weichteil- und Knochenheilung erfolgen (Breitfuß et al. 1988, Brennan 1990, Etter u. Ganz 1991, Kellam u. Waddell 1979, Lamprecht u. Ochsner 1984, Ruwe et al. 1993).

Die Entwicklung operativer Behandlungsmethoden machte unterdessen große Fortschritte. Die vertikale transartikuläre Marknagelung („l'enclouage transplantaire“), von Decoulx u. Decoulx (1965) beschrieben, hat nur noch historische Bedeutung. Zu den ersten operativen Behandlungsversuchen gehörte die Fixierung einzelner größerer Bruchfragmente durch Schrauben oder Spickdraht (Decoulx et al. 1961). Im Vergleich zur konservativen Ruhigstellung im Gips waren die Ergebnisse der chirurgisch Behandelten besser (Maurer u. Lechner 1965), der Behandlungserfolg insgesamt mit fast 50% mäßigen bis schlechten Ergebnissen bei einfachen Bruchformen jedoch noch nicht überzeugend (Gay u. Evrard 1963). Das Extensionsverfahren ergab besonders bei Trümmerbrüchen und zentralen Impressionen der Gelenkfläche vergleichsweise gute Resultate (Maurer u. Lechner 1965).

Heute stehen mit der konventionellen Osteosynthese nach Operationstaktik der AO, dem Fixateur externe, der Minimalosteosynthese der Gelenkfläche, der Kombination von Fixateur externe und Minimalosteosynthese der Gelenkfläche und der „biologischen“ Osteosynthese weitere Verfahren zur Verfügung.

1.9 Operationstaktik der AO: die konventionelle Osteosynthese

Die AO-Gruppe in der Schweiz erarbeitete ein operatives Vorgehen, das erstmalig 1963 von Müller et al. anhand einzelner Beispiele erläutert wurde. Sie machten auf den Knochendefekt in der Metaphyse aufmerksam und empfahlen die Auffüllung durch autologe Spongiosa. Auch Weber (1965) forderte, alle Stauchungsbrüche der distalen Tibia notfallmäßig zu operieren.

Rüedi et al. (1968) überprüften den Erfolg der 1963 formulierten Behandlungsprinzipien der AO an einem größeren Patientenkollektiv, das sich zu 2/3 aus Skiunfällen und größtenteils aus geschlossenen Frakturen zusammensetzte. Aufgrund der 74% guten Ergebnisse forderten sie das

standardisierte Vorgehen in vier Schritten. Als separate Voroperation erfolgt die Entnahme autologer Spongiosa aus dem Beckenkamm.

1. Schritt: Osteosynthese der Fibula

Über die meistens unbeschädigten Syndesmosenbänder bleibt ein distales Tibiafragment („Tubercule de Tillaux-Chaput“) mit der Fibula verbunden. Die reponierte Fibulafraktur bildet einen Indikator für die Länge und Achse der Tibia. Das nun an korrekter Stelle liegende laterale Tibiafragment zeigt das ursprüngliche Niveau der Tibiagelenkfläche an und erleichtert dadurch den Aufbau. Als Implantate für die Fibula dienen je nach Bruchform die Drittelrohrplatte und manchmal einzelne interfragmentäre Zugschrauben.

2. Schritt: Rekonstruktion der Tibiagelenkfläche

Der Standardzugang zur distalen Tibiagelenkfläche liegt ventromedial. Die Inzision sollte möglichst wenig abbiegen, um die Bildung gefährlicher Hautlappen zu vermeiden (Heim 1972). Ziel des zweiten Operationsschrittes ist die anatomisch möglichst genaue Wiederherstellung des Tibia-„Plafonds“. Die Talusrolle eignet sich dabei als formgebendes Modell und Widerlager, dem die gelenkbildenden Tibiafragmente angepasst werden. Es ist bei komplexen Frakturen vorteilhaft, reponierte Fragmente durch eingebaute Kirschner-Drähte provisorisch zu fixieren.

3. Schritt: Spongiosaplastik

Durch die Reposition entfalten sich spongiöse Defekte, die meistens metaphysär liegen und aufgefüllt werden. Die vorher gewonnene autologe Spongiosa wird durch ein bereits bestehendes oder durch ein künstlich geschaffenes Kortikalisfenster in den Defekt eingebracht und mit dem Stößel eingepresst.

4. Schritt: Mediale Abstützung

Die Osteosynthese sollte übungsstabil sein, um die aktive Mobilisierung zu ermöglichen. Bei den vollständigen Frakturen muss man zuerst einen epi-metaphysären Block herstellen mittels einer die ganze Zirkumferenz der Tibia umfassenden Fixierung und diesen dann mit der Diaphyse verbinden. Diese Fixierung erfolgt zunächst durch Schrauben, in der Regel ist danach für die Verbindung nach proximal eine mediale Abstützung notwendig, die den stark beanspruchten metaphysären Frakturbereich, der für Fehlstellungen und Konsolidierungsstörungen anfällig ist, gegen die sekundäre Varusstellung sichert (die Fibulaosteosynthese wirkt der Valgusstellung entgegen). Es lässt sich dadurch ein stabiler Rahmen bilden (lateral stabilisierte Fibula, medial gestützte Tibiakortikalis). Diesen Zweck erfüllt eine mediale Plattenosteosynthese. Das

heute am häufigsten verwendete Implantat ist die Kleeplatte, die von Heim (1972) speziell für die Pilon-tibial-Frakturen entwickelt wurde. Sie ist dünn und lässt sich leicht verbiegen und so dem Knochen anpassen. Entsprechend der Bruchform werden sonst auch T-Platten, selten Halbrohrplatte und Löffelplatte verwendet.

Nachbehandlung

Nach der Operation wird das Bein als Spitzfußprophylaxe in einer U-Schiene hochgelagert. Sofern durch die Osteosynthese die gewünschte Übungsstabilität erreicht wurde, beginnt man nach 1 bis 2 Tagen mit der aktiven Dorsalflexion. Die U-Schiene wird nach 10 bis 14 Tagen entfernt, um die Bewegungsübungen zu erweitern (Bone et al. 1993, Mast et al. 1988, Ruwe et al. 1993).

Die meisten Autoren empfehlen bei komplexen Frakturen Teilbelastung von 10 - 15 kg für mindestens 12 Wochen und Vollbelastung nach 16 bis 20 Wochen (Heim 1991, Heim u. Pfeiffer 1988, Mast et al. 1988, Rüter 1978, Ruwe et al. 1993) Rüedi (1983) gestattet Teilbelastung bei stabilen Verhältnissen bereits nach 6 - 8 Wochen. Die Entlastungszeit sollte dem Schweregrad der Fraktur und dem radiologisch nachweisbaren Heilungsverlauf angepasst werden.

1.10 Alternative Methoden zur konventionellen Osteosynthese

Die teilweise hohen Komplikationsraten und entsprechend schlechten Ergebnisse (Breitfuß et al. 1988, Pierce u. Heinrich 1979, Songis-Mortreux 1975) veranlassten die Chirurgen, abweichende Verfahren zu entwickeln. Unterscheiden kann man die einzeitige operative Behandlung mit sofortiger definitiver Bruchstabilisierung von der zweizeitigen Behandlung, wo nach zunächst nur provisorischen Maßnahmen später unter günstigeren Bedingungen die endgültige Stabilisierung erreicht wird. Zu den vorläufigen Maßnahmen zählen je nach Bruchform und Weichteilschädigung die alleinige Fibulaosteosynthese, die Kalkaneusextension, der Fixateur externe, die Minimalosteosynthese der Gelenkfläche und Kombinationen dieser Methoden. Im Falle eines ausgeprägten Weichteilschadens wird zunächst eine externe Stabilisierung (evt. in Kombination mit einer Minimalosteosynthese) durchgeführt, die nach der Weichteilheilung gegen eine interne Osteosynthese ersetzt oder durch sie ergänzt wird. Die Rate an Weichteil- und Knocheninfektionen lag in verschiedenen Kollektiven damit niedriger als bei der einzeitigen konventionellen Osteosynthese (Bastian et al. 1995, Breitfuß et al. 1988, Höntzsch et al. 1990, Rommens et al. 1994, Welz 1982)

Alternativ kann die endgültige Stabilisierung durch eine externe Fixierung erreicht werden, vor allem bei schwerem Weichteilschaden oder einer knöchernen Zertrümmerung, die eine feste interne Fragmentfixierung aussichtslos erscheinen lässt. In diesen Fällen lässt sich mit Hilfe eines Fixateur externe die Fraktur distrahieren und teilweise reponieren, außerdem können Achsenabweichungen und die Beinlänge korrigiert werden. Die Kombination mit einer Fibulaosteosynthese ist möglich. Mittlerweile gibt es verschiedene Modelle, die das Sprunggelenk freigeben, um die Frühmobilisierung des Gelenkes zu ermöglichen (Claudi u. Oedekoven 1991, Bonar u. Marsh 1993, Fitzpatrick et al. 1995, French u. Tornetta 2000, Karas u. Weiner 1994, Mast 1993, Murphy et al. 1991, Saleh et al. 1993, Tornetta et al. 1993).

Die Minimalosteosynthese der dislozierten Gelenkfläche wird auch zur definitiven Stabilisierung eingesetzt. Bereits Scheck (1965) berichtete von der erfolgreichen Behandlung schwerer, offener Pilon-tibial-Frakturen mit Hilfe dieser Strategie. Darunter versteht man die gewebeschonende Rekonstruktion der Gelenkfläche unter Verwendung von kleinen Implantaten, vorzugsweise Schrauben und Drähten, manchmal kleinen Platten. Die Reposition und Fixierung der Fragmente erfolgt perkutan oder durch Stichinzisionen. Unnötige Knochenfreilegungen sollte man vermeiden und auf eine genaue Adaptation metaphysärer Fragmente verzichten. Für mehr Stabilität lässt sich die Methode mit einem Fixateur externe kombinieren, der die interne Plattenosteosynthese ersetzt: z.B. als Methode nach Ilisarov (Aktuglu et al. 1998, Jurgens et al. 1992, Pavolini et al. 2000) oder als Kombination von Ilisarov-Ring mit konventionellem Fixateur (Hybridfixateur). Um eine Einsinterung der Fraktur in Varusstellung zu verhindern, wird der Fixateur vorzugsweise medial angebracht. (Bonar u. Marsh 1993, Claudy u. Oedekoven 1991, Hendrich u. Sieweke 1993, Rüedi 1993, Tornetta et al. 1993).

1.11 Die „biologische“ Osteosynthese

Die Prinzipien der Minimalosteosynthese fließen mit in die „biologische“ Osteosynthese ein (Baumgaertel 1993). Diese hat zum Ziel, die physiologischen Abläufe der Frakturheilung mit einem Minimum an operativen Maßnahmen optimal zu unterstützen. Sie unterscheidet sich nicht in der Wahl des Implantates, sondern in der technischen Ausführung der Fragmentreposition und Fragmentstabilisierung von der konventionellen Osteosynthese. Ziel dieser Technik ist es, unter Wahrung

der verbliebenen Blutversorgung dem Knochen eine provisorische Stabilität zu verleihen, bis der Knochen solide überbrückt ist. Angestrebt wird in erster Linie die Wiederherstellung der Länge und Achsen der Tibia und die Kongruenz des Gelenkes. Eine atraumatische Technik unter Verzicht auf Periost- und Weichteilablösung soll helfen, die Vaskularität von Knochenfragmenten zu erhalten. Die Prinzipien der AO liegen dieser Osteosyntheseform zugrunde, werden jedoch modifiziert: Sie verzichtet dort auf eine anatomische Reposition und eine Kompression möglichst aller Bruchflächen, wo deren Verwirklichung die Blutversorgung beeinträchtigen würde. Die "biologische" Osteosynthese nimmt bewusst in Kauf, dass die biomechanische Stabilität der Primärosteosynthese eine untergeordnete Rolle spielt. Die verschiedenen Osteosyntheseverfahren (interne oder externe Fixierung) sollen jedoch insgesamt eine stabile Bruchfixierung als Voraussetzung für gute Heilungsbedingungen ergeben. (Bone et al. 1993, Claudi u. Oedekoven 1991, Helfet et al. 1994, Höntzsch et al. 1990).

Als erster Schritt wird auch hier die Fibula reponiert und stabilisiert, wodurch anhängende Fragmente der Tibiagelenkfläche ebenfalls reponiert werden. Bei der Bruchreposition sollen keine Weichteile oder Knochenfragmente aus ihrem Gewebeverband gerissen werden. Wo es möglich ist, erfolgt die Reposition der Bruchfragmente auf indirektem Wege, teils noch vor Durchführung des operativen Zuganges. Dazu wird das Prinzip der Ligamentotaxis (Vidal et al. 1977) – das Ausrichten von Weichteilen durch Längszug bzw. Distraction – angewandt. Die innerhalb der Weichteile befindlichen, noch an Muskel, Sehngewebe und Periost haftenden Knochenfragmente werden durch Distraction in axialer Richtung des Knochens ausgerichtet und modelliert. Es entsteht so eine Vorreposition von Fragmenten, die Knochenlänge kann wiederhergestellt und die Tibiaachsen können nach Berücksichtigung des Muskelzuges korrigiert werden.

Die indirekte Reposition ist ein wesentlicher Aspekt der „biologischen Osteosynthese“ und verhilft dazu, die einzelnen Knochenfragmente in ihrer anatomischen Umgebung zu belassen und so ihre Blutversorgung zu erhalten. Die Technik bietet wesentliche Vorteile (Baumgaertel 1993): Die Fraktur wird provisorisch durch den Längszug stabilisiert und die Durchleuchtungskontrolle dadurch erleichtert, da die Lage der Extremität ohne Einfluß auf die Fragmentposition verändert werden kann. Unkontrollierte Repositionsmanöver

durch manuellen Längszug und die direkte digitale Fragmentreposition unterbleiben. Die Achsenkorrektur erfolgt über das Distraktionsgerät und nicht durch Manipulieren des Knochens. Geeignete Distraktionsgeräte sind der AO-Distraktor oder verschiedene Formen des Fixateur externe. Bei bereits dargestellter Fraktur erfolgt die indirekte Reposition über die auf einem Hauptfragment fixierte Platte. Plattenspanner oder Arthrodesenspreizer werden zur Distraktion unter Verwendung einer außerhalb der Platte liegenden Schraube eingesetzt (Mast et al. 1988). Die Distraktion ist vor allem dann erfolgversprechend, wenn eine als Erstversorgung vorgenommene Kalkaneusextension zu einer Teilreposition der Gelenkfläche geführt hat (Mast 1993).

Die direkte Reposition ist nur dort erlaubt, wo sie mit spitzen Instrumenten (spitze Repositionszangen, Zahnarztzangen, Kirschner-Drähte) transmuskulär, transkutan oder durch die Fraktur selbst möglich ist. Eine provisorische Bruchstabilisierung kann mit großen Repositionszangen erfolgen, wobei eine Spitze durch die Wundöffnung und die andere Spitze gegenüber perkutan den Knochen greift. Diese Stellen dienen später als Indikator für transkutan gesetzte Schrauben. Auf Säuberung und Einsicht in das Frakturgebiet wird verzichtet. Einzelne Frakturspalten werden nicht freipräpariert, eingeschlagenes Periost oder Weichteilgewebe nur dort entfernt, wo der Zugang zur Befestigung der Platte dieses erlaubt. Nur flüssiges Frakturhämatom wird entfernt. Die Prinzipien der interfragmentären Kompression werden nur dann angewandt, wenn sie blind einsetzbar sind. Die präoperative Planung des Vorgehens bestimmt die Art und Lokalisation der Zugschrauben, die im Idealfall nur durch die ebenfalls vorgeplante Platte gelegt werden dürfen oder allenfalls an Stellen, die durch das Trauma deperiostiert wurden. Sie dürfen auch blind transmuskulär gesetzt werden (Baumgaertel 1993).

Bei der „biologischen“ Plattenosteosynthese wird das zu wählende Implantat in Kenntnis der Anatomie blind angebracht. Vorbiegen, Torsion usw. der Platte erfolgen ohne wiederholte Anpassung an den Knochen, der sein Periost behält und von Muskulatur nur so weit befreit wird, dass die gewählte Platte angebracht werden kann. Größere Frakturfragmente werden nur dann durch Plattenschrauben einbezogen, wenn dies ohne weiteres Löslösen der Fragmente von anhaftenden

Weichteilen möglich ist. Die Erhaltung der Durchblutung ist wichtiger als eine mechanisch günstigere exakte Fragmenteinpassung. Die vital belassenen Fragmente sollen mit nur minimalem Aufwand in Position gehalten werden. Die sekundäre Knochenheilung erfolgt über viel Kallus, eine Spongiosaplastik ist oft nicht mehr notwendig. Sie wird nur dann durchgeführt, wenn ein großer Defekt durch Knochenverlust evident ist (vor allem zur Auffüllung größerer ventral oder medial gelegener Knochendefekte), oder das Trauma selbst die Weichteilverbindungen zu den Knochen gestört hat. Sie erfolgt jedoch vor Anbringen des Implantates, und zwar durch die Frakturzone. Im Falle von Kontraindikationen (kontaminierte offene Fraktur) muss die Spongiosaplastik auf später verschoben werden, mindestens bis zum sekundären Wundschluss. Antibiotisch imprägnierter Zement kann dann als vorübergehende Füllung dienen. Gewebeverträgliche Platten kommen zum Einsatz, wie die LC-DCP (limited contact-dynamic-compression plate), denn eine großflächige Knochenauflage schadet der Durchblutung der darunterliegenden Kortikalisanteile. Die durch das Periost laufende Durchblutung der äußeren Kortikalissschichten ist bei den neuen Platten kaum mehr beeinträchtigt. (Baumgaertel 1993, Claudi u. Oedekoven 1991, Helfet et al. 1994, Karas u. Weiner 1994, Mast 1993, Mast et al. 1988, Muhr und Ostermann 1997, Nast-Kolb et al. 1993, Rommens et al. 1994).

1.12 Fragestellung dieser Arbeit

Die Prognose der Pilon-tibial-Frakturen wird trotz Weiterentwicklung der Behandlung im allgemeinen als nicht günstig angesehen. In der folgenden Untersuchung sollen drei Fragen beleuchtet werden:

1. Gibt es intraoperative Methoden, die als technische Hilfe das Ergebnis verbessern könnten?
2. Welchen Stellenwert hat die indirekte Reposition im Vergleich zur direkten Reposition?
3. Bietet die „biologische“ Osteosynthese als alternative Methode zur konventionellen Osteosynthese Vorteile?

1.13 Zielsetzung

Es soll anhand von Pilon-tibial-Frakturen, die in der Klinik für Unfallchirurgie der Marburger Philipps-Universität behandelt wurden, der Einfluss von operativer

Technik und Osteosyntheseart auf die Art und Häufigkeit der Komplikationen und das Behandlungsergebnis untersucht werden.

2 Methodik

Die Daten stammen aus dem Dokumentationsmaterial der unfallchirurgischen Universitätsklinik Marburg. Mit Hilfe der OP-Bücher und der Röntgenaufnahmen wurden retrospektiv Pilon-tibial-Frakturen herausgesucht, Malleolarfrakturen wurden vom Kollektiv ausgeschlossen (zur Unterscheidung galten die unter Kap. 1.2 beschriebenen Kriterien). Der Nachuntersuchungszeitpunkt musste mindestens 12 Monate betragen und die Behandlung abgeschlossen sein. Ausschlusskriterien waren außerdem eine auswärts erfolgte chirurgische Erstbehandlung der Fraktur sowie Minderjährigkeit.

2.1 Nachuntersuchung

Die Untersuchung bestand aus einem subjektiven Teil, einem klinischen Teil mit äußerer Begutachtung, Bewegungsmessung und Funktionstest und aus einem radiologischen Teil mit Erfassung der knöchernen Komplikationen und Beurteilung von Frakturstellung und Arthrosegrad (detaillierte Untersuchungsbögen s. Anhang). Bei den zugrundegelegten subjektiven und klinischen Kriterien handelt es sich, wenn nicht anders angegeben, um eine eigene Auswahl mit Bewertung. Die Anregungen dazu kamen aus einem Nachuntersuchungsschema von Prof. Dr. Baumgaertel für das obere Sprunggelenk und von Nachuntersuchungsbögen anderer Autoren (Baird u. Jackson 1987, Mazur et al. 1979, Olerud u. Molander 1986, Rüedi et al. 1968).

2.1.1 Subjektive Kriterien

Die subjektive Beurteilung der Patienten wurde durch einen Fragebogen mit folgenden Kriterien ermittelt:

Steifigkeitsgefühl, Bewegungsreiben, Wetterfühligkeit, Anlaufschmerz, Belastungsschmerz, Ruheschmerz, Nachtschmerz, Dauerschmerz, Rückenschmerzen, Medikamenteneinnahme, Gehhilfen, Gangunsicherheit im ebenen und unebenen Gelände, Umknicken, Wegstrecke, Treppensteigen, Sportfähigkeit, Arbeitsfähigkeit, Schwellung des Beines, Sensibilitätsstörungen, Narbenverhältnisse, Gebrauchsfähigkeit des Beines, Zufriedenheit mit dem Resultat.

Die erreichte Punktzahl wurde einer Einstufung zugeordnet mit Definition der Ergebnisse „gut“, „befriedigend“ und „schlecht“.

2.1.2 Klinische Kriterien

Die äußere Nachuntersuchung bestand aus einer Beurteilung von Rötung der Haut, Störungen der Durchblutung und Hauttrophik, Hautläsionen, Narbenverhältnissen, Fuß- und Unterschenkelkontur, Schwellung, Muskelatrophie, Fehlstellungen des Fußes oder Unterschenkels, Druckschmerz, Sensibilitätsstörungen, Fußbeschwellung, Schuheinlagen bzw. Schuhwerk. Die erreichte Punktzahl wurde in einer Einstufung dem Ergebnis „gut – befriedigend – schlecht“ zugeordnet.

Bei der Beweglichkeitsmessung wurde der Bewegungsumfang im oberen Sprunggelenk und in den angrenzenden Gelenken (unteres Sprunggelenk und Kniegelenk) untersucht. Die Messwerte wurden in einer Einstufung dem Ergebnis „gut – befriedigend – schlecht“ zugeordnet.

Es schloss sich eine Funktionsprüfung mit Beurteilung des Gangbildes und verschiedener Stand- und Gangarten an. Der funktionelle Status wurde in einer Einstufung dem Ergebnis „gut – befriedigend – schlecht“ zugeordnet.

2.1.3 Radiologische Kriterien

Es wurden Bilder vom oberen Sprunggelenk und vom Unterschenkel (jeweils a.-p. und lateral im Seitenvergleich) angefertigt.

Kriterien für knöcherne Komplikationen waren:

- Implantatversagen (Bruch oder Lockerung des Metalls)
- Ostitis oder Osteomyelitis
- Osteoarthritis
- avaskuläre Nekrose (Knocheninfarkt)
- Sequester (demarkierte Knochennekrose)
- Konsolidierungsstörungen
 - verzögerte Frakturheilung = keine Verknöcherung nach 20 Wochen
 - Nonunion = keine Verknöcherung nach 8 Monaten

Die Frakturstellung wurde anhand folgender Kriterien beurteilt:

- axiale Dislokationen der Tibia (Valgus, Varus, Rekurvation, Antekurvation)
- Klaffen der Malleolengabel
- Inkongruenzen der Gelenkflächen

- Tibiaverkürzung

Die Daten wurden in einer Einstufung dem Ergebnis „gut – befriedigend – schlecht“ zugeordnet. Die Bewertung der Kriterien entstand in Anlehnung an Resch et al. (1986a+b) und Hourlier (1981). Die Tibiaverkürzung wurde dabei nicht berücksichtigt.

Die Einteilung der Arthrose erfolgte in Anlehnung an die von Stadium 0 – III reichende Skala von Bargon (1978). Sie wurde um die Kategorie „Präarthrose“ ergänzt, da sich einige Fälle sonst weder dem Arthrosegrad 0 noch dem Arthrosegrad I zuordnen ließen.

2.2 Kriterien für die Gesamteinstufung

Bei jeder Fraktur wurde unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den einzelnen Untersuchungsabschnitten eine Gesamtbewertung vorgenommen. Die Einstufungen in die Kategorien „gut – befriedigend – schlecht“ wurden zugrunde gelegt (s. Anhang). Die Arthrosegrade wurden folgendermaßen in diese Kategorien eingeordnet: 0 als gut, Präarthrosen als befriedigend und die Arthrosegrade I bis III als schlecht. Es wurde dann rechnerisch der Mittelwert aus den Teilergebnissen gebildet. Bei grenzwertigen Gesamtergebnissen waren die subjektive Beurteilung, die Bewegungsmessung und die Arthroseeinteilung von vorrangiger Bedeutung. Die Arthrodesen wurden als Behandlungsmisserfolge und somit schlechte Resultate gewertet.

2.3 Statistische Methode

Durch statistische Berechnungen wurden einerseits Zusammenhänge zwischen der internen Osteosynthese (Anzahl der Metallimplantate und Spongiosaplastiken) und den Komplikationen bzw. den klinischen und radiologischen Ergebnissen geprüft. Andererseits wurde das Kollektiv der „biologischen“ Osteosynthesen mit dem der konventionellen Osteosynthesen in bezug auf Komplikationen und Ergebnisse verglichen. Mutmaßliche Drittvariablen (Frakturklassifikation und Weichteilschaden) wurden mituntersucht. Definition und Rangskalen aller Variablen sind im Anhang dargestellt.

Für die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der internen Osteosynthese (Anzahl der Metallimplantate und Spongiosaplastiken) und den Komplikationen

bzw. Ergebnissen wurde der Rangkorrelationskoeffizienten r_s nach Spearman (Siegel u. Castellan 1988) berechnet, der den Zusammenhang zwischen zwei Variablen misst, die Ordinalskalenniveau erfüllen. Dabei wurde die Null-Hypothese gegen die Hypothese einer positiven Assoziation der Variablen geprüft. Folglich handelt es sich bei den Werten von p um die Irrtumswahrscheinlichkeiten für einen „one-tailed test“. Die Fälle, in denen entgegen der Hypothese eine negative Korrelation (r_s ist negativ) zwischen zwei Variablen gefunden wurde, sind in den Ergebnissen gekennzeichnet. Es wurde ein Signifikanzniveau zugrunde gelegt, demzufolge nur Korrelationen signifikant sind, deren Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ ist.

Für den Vergleich der konventionellen Osteosynthesen mit den „biologischen“ Osteosynthesen wurde der Wilcoxon-Mann-Whitney Test (Siegel u. Castellan 1988) angewandt. Er testet, mit welcher Wahrscheinlichkeit zwei unabhängige Gruppen derselben Population entstammen (Null-Hypothese). Bei den eigenen Berechnungen wurde diese Null-Hypothese gegen die Hypothese geprüft, wonach das Kollektiv der „biologischen“ Osteosynthesen (stochastisch) kleinere Werte als das Kollektiv der konventionellen Osteosynthesen hinsichtlich der Komplikationen und Ergebnisse hat („one-tailed test“). Wie beim Spearman-Test wurde bei der Definition der Variablen ein Ordinalskalenniveau angewandt und ein Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ zugrunde gelegt.

2.4 Osteosynthese-Technik

Bei der operativen Behandlung wurde zwischen konventioneller und „biologischer“ Osteosynthese unterschieden. Die Angaben für die Zuordnung der Fälle stammen aus den Operationsberichten. Die Erwähnung folgender Kriterien führte zur Einteilung als „biologische“ Osteosynthese:

- „biologische“ Osteosynthese oder „biologische“ Technik
- indirekte Reposition oder Reposition durch Ligamentotaxis
- Verzicht auf anatomische Reposition
- Verzicht auf Freipräparieren der Knochenfragmente
- Verzicht auf Spongiosaplastik trotz Defekt
- Implantate wurden blind gesetzt

3 Ergebnisse

Im Zeitraum von 1985 - 1991 (Stichtag 1.9.1991) wurden 52 Patienten mit 54 Pilon-tibial-Frakturen dokumentiert, die die Voraussetzungen für die Studienteilnahme erfüllten. Davon entfielen 21 Brüche auf das rechte und 33 Brüche auf das linke Bein. Ein auswärts operierter und zur Weiterbehandlung nach Marburg überwiesener Fall wurde von der Studie ausgeschlossen. Der Zeitraum zwischen Unfall und Nachuntersuchung der Patienten reichte von 12 Monaten bis zu 86 Monaten und betrug durchschnittlich 47,5 Monate bzw. 4 Jahre. Das Alter der Patienten betrug im Durchschnitt 46 Jahre mit einem Minimum von 19 und einem Maximum von 78 Jahren. Es gab 36 Männer (68%) und 17 Frauen (32%).

3.1 Unfallursache

Über die Hälfte der Patienten verletzte sich durch einen Sturz aus der Höhe. Es waren keine Sport- oder Skiunfälle dabei (Tab. 1).

Unfallursache	Anzahl	Prozentangabe (n = 54)
Sturz zu ebener Erde	9	17%
Sturz aus der Höhe	29	54%
Verkehrsunfall (Pkw-Insasse)	12	22%
Direkte Gewalteinwirkung	4	7%

Tab. 1 Unfallursachen

3.2 Begleitverletzungen

Die offenen Brüche wurden anhand von Krankenakten und Operationsberichten retrospektiv in 4 verschiedene Schweregrade nach Oestern u. Tscherne (1983) eingeteilt (Tab. 2). Es war eine 4.-gradig offene Fraktur darunter, bei der es sich um eine subtotale Amputation des distalen Unterschenkels im metaphysären Bereich des Pilon tibiale handelte. Dem Patienten war bei der Arbeit ein Eisenträger auf das Bein gefallen. Durch die fast vollständige Abtrennung des Fußes entstanden Verletzungen des distalen Gefäß-Nerven-Bündels (A. dorsalis pedis und A. tibialis posterior, N. tibialis).

offener Weichteilschaden	Anzahl	Prozentangabe (n = 54)
1.-gradig offen	2	
2.-gradig offen	8	
3.-gradig offen	2	
4.-gradig offen	1	
insgesamt offen	13	24%

Tab. 2 Offener Weichteilschaden

Zusätzlich wurde eine Einteilung des subkutanen Weichteilschadens vorgenommen (Tab. 3). Eine Klassifikation des Weichteilschadens der geschlossenen Brüche nach Oestern u. Tscherne (1983) war retrospektiv nicht möglich.

subkutaner Weichteilschaden	Anzahl	Prozentangabe (n = 54)
Weichteilhämatom	15	28%
Kontusion der Weichteile	19	35%

Tab. 3 Subkutaner Weichteilschaden

Von 41 geschlossenen Brüchen waren 7 mit einer Weichteilkontusion assoziiert (17%). Es kam außerdem bei einer 1.-gradig offenen Fraktur und bei zwei geschlossenen Brüchen ohne Kontusion zu Spannungsblasen der Haut. Bei einem geschlossenen Bruch mit Kontusion trat ein posttraumatisches Kompartmentsyndrom (Tibialis-anterior-Syndrom) auf, zur Druckentlastung wurde eine Faszienpaltung durchgeführt. Zählt man zu den 13 offenen Brüchen noch die 7 geschlossenen mit Kontusion sowie die beiden geschlossenen mit Spannungsblasen hinzu, so kommt man auf eine Zahl von 22 Frakturen (41%) mit geschädigten Weichteilen.

12 der 40 Fibulabrüche waren von einer Syndesmosenverletzung begleitet (30%). Die Syndesmosenverletzungen waren also bis auf eine alle mit einem Fibulabruch assoziiert. 4 Bandverletzungen waren partiell (nur ein Band betroffen), 9 komplett (beide Bänder betroffen). Aus den Operationsberichten ging nicht immer klar hervor, ob es sich dabei um echte Bandrupturen oder um knöcherne Ausrisse handelte. (Tab. 4 und Tab. 5).

lokale Begleitverletzungen	Anzahl	Prozentangabe (n = 54)
Fibulafraktur	40	74%
Syndesmosenverletzung	13	24%
Innenknöchelbruch	15	28%
Talusfraktur	5	9%

Tab. 4 Lokale Begleitverletzungen

Fibulafraktur	Anzahl	Syndesmosenverletzung
Infrasyndesmal	2	keine
Transsyndesmal	6	2
Suprasyndesmal	16	4
Proximal	5	2
Mehrfragmentbruch	11	4

Tab. 5 Verteilung der Syndesmosenverletzungen auf die verschiedenen Fibulafrakturen

Insgesamt 20 Patienten (38%) hatten weitere Frakturen, 10 Patienten (19%) ein Polytrauma erlitten. In Tab. 6 u. Tab. 7 sind die Begleitverletzungen der unteren Extremitäten zusammengefasst, eine Übersicht über sonstige Begleitverletzungen gibt Tab. 8, Tab. 9 zeigt die Vorerkrankungen.

Mittelfuß	Fußwurzel	Kalkaneus	Proximale Tibia	Knie	Femur
2	1	2	1	1	4

Tab. 6 Ipsilaterale Begleitverletzungen der unteren Extremität

Mittelfuß	Kalkaneus	Talus	Tibia	Fibula	Knie	Femur
2	5	1	4	3	1	2

Tab. 7 Kontralaterale Begleitverletzungen der unteren Extremität

SH-Trauma	Gesichtschädel	Thorax	Abdomen	Wirbelsäule	Becken	Obere Extremität(en)
4	6	6	5	4	5	6

Tab. 8 Sonstige Begleitverletzungen

Diagnose	Anzahl
Diabetes mellitus	1
Adipositas	8
Hypertonie	10
AVK	1
Nikotin (mindestens 1 Päckchen/Tag)	19
Alkoholabusus	6
Postthrombotisches Syndrom (frakturiertes Bein)	2
Varikose (ausgeprägt)	9
Osteoporose (ausgeprägt)	3
Parkinson-Syndrom	1
Psychiatrische Erkrankung	2

Tab. 9 Begleiterkrankungen

3.3 Schweregradeinteilung nach dem ABC-Prinzip der AO

Die Einteilung der Frakturen wurde nach dem von Heim (1991) beschriebenen Verfahren anhand der Unfallröntgenbilder vorgenommen (a.-p. und seitliche Standardaufnahmen, wenn vorhanden auch Tomographien). Tab. 10 zeigt die unterschiedlichen Schweregrade der Frakturen. 28% waren B-Frakturen, 72% C-Frakturen.

B = 15	B1 = 8	B1.1 = 3	C = 39	C1 = 7	C1.2 = 2
		B1.2 = 3			C1.3 = 5
		B1.3 = 2		C2 = 21	C2.1 = 4
	B2 = 6	B2.1 = 2			C2.2 = 5
		B2.2 = 3			C2.3 = 12
		B2.3 = 1		C3 = 11	C3.2 = 4
	B3 = 1	B3.1 = 1			C3.3 = 7

Tab. 10 Schweregradeinteilung nach dem ABC-Prinzip der AO: Frakturtypen mit Fallzahlen

3.4 Operative Behandlung

Die provisorische Reposition und Stabilisierung des Bruches wurde in der Klinik durch folgende Maßnahmen erreicht: 22mal mit dorsaler Gipsschiene, 25mal mit Kalkaneusextension (durch einen Steinmann-Nagel), 5mal mit Fixateur externe und einmal durch eine provisorische Minimalosteosynthese der Tibia (Kirschner-

Drähte), kombiniert mit Fixateur externe. Ein posttraumatisches Tibialis-anterior-Syndrom wurde durch eine Faszien-spaltung behoben. Bei einer subtotalen Amputation des Unterschenkels wurde ein gefäßchirurgischer Eingriff zur Revaskularisierung vorgenommen. 17 Patienten erhielten nach der Aufnahme Antibiotika. 18 Patienten bekamen Antiphlogistika, in den übrigen Fällen wurde der verletzte Unterschenkel nur hochgelagert.

52 der 54 Frakturen wurden einer operativen Behandlung zugeführt, deren Ziel die funktionelle Wiederherstellung des Gelenkes war. Sie richtete sich in der Mehrzahl der Fälle nach der konventionellen Operationstaktik der AO in 4 Schritten, 12mal wurde eine „biologische“ Osteosynthese mit indirekter Reposition durchgeführt. Ein Patient mit einer nicht dislozierten B1.1-Fraktur wurde konservativ durch einen Gipsverband behandelt. Bei einer 78-jährigen Patientin mit einer 2.-gradig offenen C3.2-Fraktur, Fibulatrümmerfraktur und ausgeprägter Osteoporose wurde am Unfalltag die primäre Arthrodese durchgeführt, nachdem ein Repositionsversuch misslungen war.

Die Operation erfolgte im Durchschnitt nach 6 Tagen. Noch am Unfalltag wurden 9 Patienten operiert: 8mal die primäre Osteosynthese im Sinne eines einzeitigen Vorgehens, einmal bei einer 3.-gradig offenen Fraktur die primäre Osteosynthese der Fibula, kombiniert mit provisorischer Verschraubung der Tibia und Fixateur externe (zweizeitiges Vorgehen, die definitive Versorgung folgte 12 Tage später). Die restlichen 43 Brüche wurden nach zunächst provisorischer Erstversorgung später in einem zweizeitigen Vorgehen durch geplante Osteosynthese versorgt, mit einem minimalen zeitlichen Abstand zum Unfallereignis von einem Tag und einem Maximum von 28 Tagen (Patient mit subtotaler Amputation).

Tab. 11 gibt eine Übersicht über die Osteosyntheseimplantate der Tibia, Tab. 12 zeigt die Reosteosynthesen mit Implantaten und Ursachen. Es gab nur eine Reosteosynthese nach „biologischer“ Technik im Gegensatz zu 9 nach konventioneller Technik. Bei insgesamt 23 Frakturen wurde eine Spongiosaplastik in die Tibia eingebracht, wobei 7mal autogenes Knochenmaterial, 15mal allogenes und einmal sowohl autogenes als auch allogenes Material verwendet wurden.

	„biologische“ OS			konventionelle OS		
Implantate	insgesamt	davon		insgesamt	davon	
		SP	FE		SP	FE
Schrauben (+ Drähte)				7	3	
1 Platte	12	2	5	26	12	10
2 Platten				4	3	3
3 Platten				3	3	3
insgesamt	12	2	5	40	21	16

Tab. 11 Osteosyntheseimplantate der Tibia
(FE = Fixateur externe, OS = Osteosynthese, SP = Spongiosaplastik)

1. Osteosynthese	Reosteosynthese	Grund
Konventionelle Osteosynthesen		
Schrauben	Kirschner-Draht + Schrauben, FE	Frakturinstabilität
1 Platte, SP	1 Platte, SP, FE	Frakturinstabilität
1 Platte	1 Platte, SP, FE	Frakturinstabilität
1 Platte, SP	1 Platte, SP	Frakturinstabilität
1 Platte, SP, FE	1 Platte, SP	Nonunion
1 Platte, SP	1 Platte, SP, FE	Nonunion
2 Platten, FE	3 Platten, SP, FE	Frakturinstabilität
2 Platten, SP	Schrauben, SP, FE, transplantare Talusfixation	Frakturinstabilität, ventrale Talussubluxation
2 Platten, SP, FE	1 Platte, SP	Refraktur bei Nonunion, Ostitis
„biologische“ Osteosynthese		
1 Platte, FE	Austausch von Plattenschrauben, SP	Frakturinstabilität

Tab. 12 Reosteosynthesen der Tibia (FE = Fixateur externe, SP = Spongiosaplastik)

Von den 40 Fibulafrakturen wurden 18 mit Drittelrohrplatte, 17 mit DC-Platte und eine durch T-Platte stabilisiert. In 4 Fällen wurde keine Osteosynthese durchgeführt: 2mal bei proximalen Frakturen, einmal bei primärer Arthrodese des

Sprunggelenkes und einmal bei einem irreparablen Trümmerbruch der Fibula mit Osteoporose.

Die 52 osteosynthetisch versorgten Brüche wurden von 8 Chirurgen operiert. Auf die einzelnen Chirurgen entfiel dabei folgende Zahl an Osteosynthesen:

17 - 12 - 8 - 4 - 4 - 5 - 1 - 1.

25 Patienten erhielten perioperativ Antibiotika.

Bei 9 Brüchen (7 offene und 2 geschlossene) wurden hautplastische Deckungen durchgeführt, wobei folgende Transplantate verwendet wurden: 8mal Spalthaut, einmal Vollhaut, 2mal geschwenkter Lappen und 4 gestielte Lappen (2 Cross-leg, 1 Latissimus-dorsi, 1 Radialis). In 4 Fällen waren mehrfache Transplantationen erforderlich.

In 4 Fällen wurde ohne Blutsperre operiert, 17mal dauerte die Blutsperre länger als 120 Minuten.

In den Operationsberichten wurden folgende intraoperative Komplikationen und Besonderheiten erwähnt:

- 6mal eine Osteoporose
- 5mal unbefriedigende Gelenkrekonstruktion
- 4mal bleibende Defekte mit Verkürzung der Frakturzone
- 4mal Spongiosaplastik der Fibula
- einmal wurde eine Fibulaosteotomie zur besseren Einsicht der Frakturzone durchgeführt und nach der Tibiarekonstruktion durch Zuggurtung wieder fixiert
- einmal prophylaktische Faszien-spaltung bei schwerer Weichteilkontusion

Bei komplikationslosem Verlauf begannen die Patienten mit aktiven Bewegungsübungen im Sprunggelenk am 2. postoperativen Tag. Entsprechend den Weichteilverhältnissen, der Osteosyntheseart (Transfixation) und dem Allgemeinzustand der Patienten verzögerte sich der Beginn oft um Tage bis Wochen. Mit Teilbelastung des Beines wurde durchschnittlich 9,5 Wochen nach der Operation begonnen, mit Vollbelastung nach 16 Wochen. Die Metallentfernung wurde durchschnittlich nach 20 Monaten durchgeführt. In 13 Fällen war die Metallentfernung noch nicht erfolgt, ein Patient mit beidseitiger Fraktur verstarb vor der Metallentfernung.

3.5 Komplikationen

3.5.1 Allgemeine Komplikationen

Postoperativ kam es zweimal zur Thrombose der tiefen Beinvenen. Einmal konnte die Symptomatik durch eine frühzeitige Thrombektomie gebessert werden. In einem weiteren Fall führte 6 Wochen nach der Operation eine tiefe Beinvenenthrombose zu einer Lungenembolie mit Todesfolge. zweimal wurde eine postoperative Pneumonie diagnostiziert.

Zu den Komplikationen der Weichteile zählten 12 Hautnekrosen und 9 Weichteilinfektionen, darunter ein Erysipel des verletzten Unterschenkels mit Sepsis. zweimal kam es im Rahmen einer Ostitis zur Fistelbildung im Bereich der Tibia. 2 Fisteln betrafen die Wundnaht über der Fibula und eine weitere das Loch einer Kalkaneusextension (ohne Anhalt für eine Knocheninfektion).

Retrospektiv bestand in 2 Fällen der Verdacht auf ein Kompartmentsyndrom, da die Nachuntersuchungen einen Hohlfuß mit Krallenzehen und eine erhebliche Einschränkung der Dorsalflexion ergaben. Dies waren Hinweise auf eine stattgefundene Schädigung des N. tibialis. Im einen Fall war ein Tarsaltunnelsyndrom diagnostiziert worden, eine Epineurolyse ergab jedoch keine Änderung des Befundes. Im anderen Fall bestand am Unfalltag eine Durchblutungsstörung, die als „reaktiver temporärer Angiospasmus der A. dorsalis pedis“ in der Akte vermerkt wurde. Hier wurde später durch eine Elektromyographie eine N. tibialis-Schädigung festgestellt.

Bei einer subtotalen Amputation des Unterschenkels war der N. tibialis bereits durch den Unfall geschädigt. In zwei weiteren Fällen wurden aufgrund der Gefahr eines Kompartmentsyndroms frühzeitig prophylaktisch die Faszien gespalten: einmal bereits vor der Operation bei einem posttraumatischen Tibialis-anterior-Syndrom und einmal intraoperativ.

Nervenschädigungen gab es insgesamt 5mal:

- N. tibialis + sensible Teilschädigung des N. peroneus superficialis (inkomplette traumatische Amputation)

- N. tibialis (Tarsaltunnelsyndrom, Verdacht auf Logensyndrom)
- N. tibialis + sensible Teilschädigung des N. peroneus communis + superficialis (Verdacht auf Logensyndrom)
- N. peroneus communis (traumatisch bedingt, im Bereich des Fibulaköpfchens)
- Druckschädigung sensibler N. femoralis-Äste (nach Thrombektomie)

In 2 Fällen entwickelte sich eine ausgeprägte Spitzfußkontraktur: einmal nach der traumatischen subtotalen Amputation und einmal bei zusätzlicher Talusfraktur. Der Spitzfuß wurde beide Male von einer kompletten Ankylose begleitet. Im Falle einer weiteren Talusfraktur kam es zu einer Früharthrose (innerhalb von 6 Monaten nach dem Unfall). Diese drei besonders schweren oder schnellen Gelenkdestruktionen waren demnach mit einer Talusfraktur oder einem 4.-gradig offenen Fraktur assoziiert.

Im Anschluss an 7 Osteosynthesen kam es zur sekundären Instabilität und Fehlstellung der Fraktur. Mit Ausnahme der einen 4.-gradig offenen Fraktur wurden diese Fälle alle vor Abschluss der knöchernen Heilung einer Reosteosynthese zugeführt.

Einmal erfolgte wenige Tage nach der Metallentfernung eine Refraktur in der ehemaligen Bruchzone, wo große Mengen allogener Spongiosa eingebracht worden waren. Es handelte sich um eine chronische Schwachstelle im Sinne einer Nonunion – die nicht eingehheilte Spongiosaplastik war avital und demarkiert.

3.5.2 Knöcherne Komplikationen

Von insgesamt 54 Frakturen (bei 52 Patienten) konnten 47 Frakturen (bei 46 Patienten) radiologisch nachuntersucht werden. 4 Fälle (darunter die primäre Arthrodesen) konnten bezüglich der knöchernen Komplikationen nicht ausgewertet werden, da entsprechende Röntgenbilder fehlten und auch eine Einbestellung der Patienten nicht möglich war. In einem weiteren Fall (sekundäre Arthrodesen) musste zwar auf die radiologische Nachuntersuchung verzichtet werden, jedoch waren Aufnahmen für eine Auswertung der knöchernen Komplikationen vorhanden. Die beidseitigen Frakturen des verstorbenen Patienten kamen zu den Ausfällen

hinzu, ebenso die konservativ behandelte Fraktur. Prozentangaben beziehen sich daher auf die verbleibenden 47 Frakturen.

Zum Implantatversagen kam es einmal bei schwerer Osteoporose. Ein Teil des Metalls hatte sich gelockert und musste entfernt werden.

Eine Ostitis kam 3mal (6%) vor. Es handelte sich dabei um eine 4.-gradig offene Fraktur, eine 2.-gradig offene Fraktur und eine geschlossene Fraktur mit schwerer Weichteilkontusion.

Avaskuläre Nekrosen wurden 12mal (26%) festgestellt.

Sequester wurden 7mal (15%) nachgewiesen, davon 3mal im Zusammenhang mit einer Ostitis. Die übrigen 4 waren mit avaskulären Nekrosen assoziiert.

Es gab 7 Fälle (15%) von Konsolidierungsstörungen. Sie waren immer mit anderen knöchernen Komplikationen kombiniert. Eine verzögerte Frakturheilung kam 4mal vor. Sie trat 3mal zusammen mit avaskulären Nekrosen und einmal mit Ostitis auf. In 3 Fällen erreichten die Heilungsstörungen zeitlich das Ausmaß einer Nonunion: zweimal assoziiert mit avaskulären Nekrosen, ein drittes Mal außerdem mit Ostitis und Sequester.

Auch die Fibula war zweimal von Konsolidierungsstörungen betroffen. Beide Male handelte es sich um eine Pseudarthrose, wovon eine suprasyndesmal gelegen war (4.-gradig offene Fraktur), die andere infrasyndesmal die Fibulaspitze betraf.

Die Tibia war insgesamt 14mal (30%) von knöchernen Komplikationen betroffen. Sie kamen oft miteinander kombiniert vor:

- 1 Komplikation pro Fraktur: 3mal (davon bei einem zusätzlich eine Fibulapseudarthrose)
- 2 Komplikationen pro Fraktur: 5mal
- 3 Komplikationen pro Fraktur: 5mal (darunter die Teilamputation mit zusätzlich einer Fibulapseudarthrose)
- 4 Komplikationen pro Fraktur: einmal

3.5.3 Sekundäre Eingriffe

Es wurden folgende sekundäre Eingriffe wegen Komplikationen vorgenommen (Reosteosynthesen s. Kap. 3.4):

- 2mal autologe Spongiosaplastik (einmal wegen Ostitis, einmal wegen Pseudarthrose)

- 5mal einmalige oder mehrfache Antibiotikaketteneinlage
- einmal Verlängerungsosteotomie (bei der subtotalen Amputation)
- einmal Epineurolyse
- einmal Spitzfußredression
- 3mal Gelenktoilette mit Knorpelglättung und partieller Synovektomie
- 11mal vorzeitige (Teil-)Metallentfernung wegen
 - 2mal Schmerzen
 - 4mal Weichteilkomplikationen
 - 2mal Metallfehlage
 - 2mal Ostitis
 - einmal Lockerung des Metalls
- 4mal Hauttransplantationen wegen Weichteilkomplikationen

Es kam zweimal zur sekundären Arthrodesen. Einmal bei einer 78jährigen Patientin mit C2.2-Fraktur, Osteoporose und postthrombotischem Syndrom des Beines mit entsprechend vulnerablen Weichteilen, bei der im Anschluss an eine unbefriedigende Osteosynthese das funktionslose Sprunggelenk versteift wurde. Hierbei wurde das insuffiziente Implantat entfernt, der Bruch konnte stabilisiert und unter Erhaltung des Fußes zur Ausheilung gebracht werden.

Ein anderes Mal war bei einer C2.1-Fraktur durch die falsche Operationstechnik (s. Kap. Kasuistik) eine Pseudarthrose im Übergangsbereich zwischen Innenknöchel und Pilon tibiale entstanden, es folgte eine Reosteosynthese mit Spongiosaplastik. Wegen einer ausgeprägten Arthrose wurde schließlich auswärtig eine sekundäre Arthrodesen durchgeführt.

Aufgrund der Nachuntersuchungen folgten später weitere Eingriffe:

- einmal Spongiosaplastik mit Entfernung alter Antibiotikakette bei persistierender Ostitis
- einmal Spongiosaplastik und Fistelrevision bei persistierender Ostitis
- einmal Arthrodesen bei ausgeprägter Arthrose

Tab. 13 und Tab. 14 geben einen Überblick über alle Komplikationen, wobei mehrere Komplikationen bei einem Fall auftreten können.

Frühkomplikation	Anzahl	Prozentangaben (n = 53)
Tiefe Beinvenenthrombose	3	6%
Lungenembolie mit Todesfolge	1	2%
Pneumonie	2	4%
Hautnekrose	12	23%
Weichteilinfektion	9	17%
Fistel/Fibula	2	4%
Fistel/Kalkaneus	1	2%
V. a. Kompartmentsyndrom	2	4%
Sekundäre Frakturinstabilität/Fehlstellung	7	13%
Nervenschädigung	5	9%
Frühe sekundäre Eingriffe		(n = 53)
Reosteosynthesen	7	13%
➤ davon mit Spongiosaplastik	6	11%
Mehrfache Hauttransplantationen	4	8%
Vorzeitige (Teil-)Metallentfernung	6	11%

Tab. 13 Aufstellung der Frühkomplikationen (innerhalb von 4 Wochen)

Spätkomplikation	Anzahl	Prozentangaben (n = 53)
Fistel/Tibia bei Ostitis	2	4%
Sekundäre Frakturinstabilität/Fehlstellung	1	2%
Implantatlockerung	1	2%
Refraktur	1	2%
Spitzfußkontraktur mit Ankylose	2	4%
Früharthrose	1	2%
Knöcherne Komplikationen		(n = 47)
Ostitis	3	6%
Avaskuläre Nekrose	12	26%
Sequester	7	15%
Konsolidierungsstörungen/Tibia	7	15%
➤ Verzögerte Frakturheilung	4	9%
➤ Nonunion	3	6%
Pseudarthrose/Fibula	2	4%
Sekundäre Eingriffe		(n = 53)
Reosteosynthese mit Spongiosaplastik	3	6%
Spongiosaplastik	2 + 2*	8%
Einlage einer Antibiotikakette	5	9%
Epineurolyse	1	2%
Spitzfußredression (Fixateur externe)	1	2%
Gelenktoilette	3	6%
Vorzeitige (Teil-)Metallentfernung	5	9%
Sekundäre Arthrodesen	2 + 1*	6%

*spätere Eingriffe aufgrund der Nachuntersuchung

Tab. 14 Aufstellung der Spätkomplikationen (nach 4 Wochen)

3.6 Ergebnisse der Nachuntersuchung

Von insgesamt 52 Patienten (54 Frakturen) konnten 44 Patienten (45 Frakturen) vollständig nachuntersucht werden. Von den Bewertungen ausgeschlossen wurden eine primäre Arthrodesen und eine konservativ behandelte B1.1-Fraktur mit Restitutio ad integrum. Es gab 7 komplette Ausfälle bei den Nachuntersuchungen: ein verstorbener Patient mit beidseitiger Pilon-tibial-Fraktur und 5 Patienten, deren Aufenthaltsort nicht ermittelt werden konnte (darunter zwei 78-jährige Patientinnen mit primärer bzw. sekundärer* Arthrodesen). Einmal musste wegen einer begleitenden Acetabulumfraktur auf die Funktionsprüfung verzichtet werden, daher blieb dieses Teilergebnis offen. In einem anderen Fall (auswärtige sekundäre* Arthrodesen) war aufgrund der Entfernung keine Einbestellung möglich, sondern nur die subjektive Beurteilung durch den Fragebogen.

*Die beiden sekundären Arthrodesen wurden bei fehlenden Angaben den schlechten Ergebnissen zugeordnet, so dass sich bei den Einstufungen der Ergebnisse die Fallzahl n jeweils um 2 erhöhte (bei den subjektiven Ergebnissen um 1).

3.6.1 Subjektive Ergebnisse

Die Ergebnisse der Befragung mit der subjektiven Einschätzung durch die Patienten sind in Tab. 15 dargestellt, die Einstufung der Ergebnisse in drei Kategorien geht aus Abb. 12 hervor.

Befragungsinhalte	Häufigkeit
Steifigkeitsgefühl	26x
Bewegungsreiben	15x
Wetterfähigkeit	37x
Anlaufschmerz	29x
Schmerz unter alltäglichen Belastungen	21x
Schmerz unter starker Belastung	12x
Ruheschmerz	13x
Nachtschmerz	8x
Dauerschmerz	13x
Rückenschmerzen seit Unfall	9x

Befragungsinhalte	Häufigkeit
regelmäßig Medikamenteneinnahme	2x
selten Medikamenteneinnahme	9x
Unterarm-Gehstütze	5x
Gehstock	2x
Gangunsicherheit im ebenen Gelände leicht erhöht	17x
Gangunsicherheit im ebenen Gelände stark erhöht	8x
Gangunsicherheit im unebenen Gelände leicht erhöht	16x
Gangunsicherheit im unebenen Gelände stark erhöht	19x
häufigeres Umknicken	14x
Angst vor Umknicken	16x
Wegstrecke stark eingeschränkte	16x
Wegstrecke leicht eingeschränkte	15x
Treppensteigen stark eingeschränkt	14x
Treppensteigen leicht eingeschränkt	13x
Sportfähigkeit stark eingeschränkt	23x
Sportfähigkeit leicht eingeschränkt	13x
Arbeitsunfähig	7x
Reduktion der Arbeitsbelastung bzw. Arbeitswechsel	20x
Schwellung des Beines tagsüber	15x
Schwellung des Beines abends	21x
Sensibilitätsstörungen	24x
Narben schmerzhaft	7x
Narben kosmetisch störend	9x
Gebrauchsfähigkeit des Beines stark eingeschränkt	17x
Gebrauchsfähigkeit des Beines leicht eingeschränkt	15x
unzufrieden mit Resultat	9x
mäßig zufrieden mit Resultat	9x
voll zufrieden mit Resultat	28x

Tab. 15 Ergebnisse der subjektiven Beurteilung (n = 46)

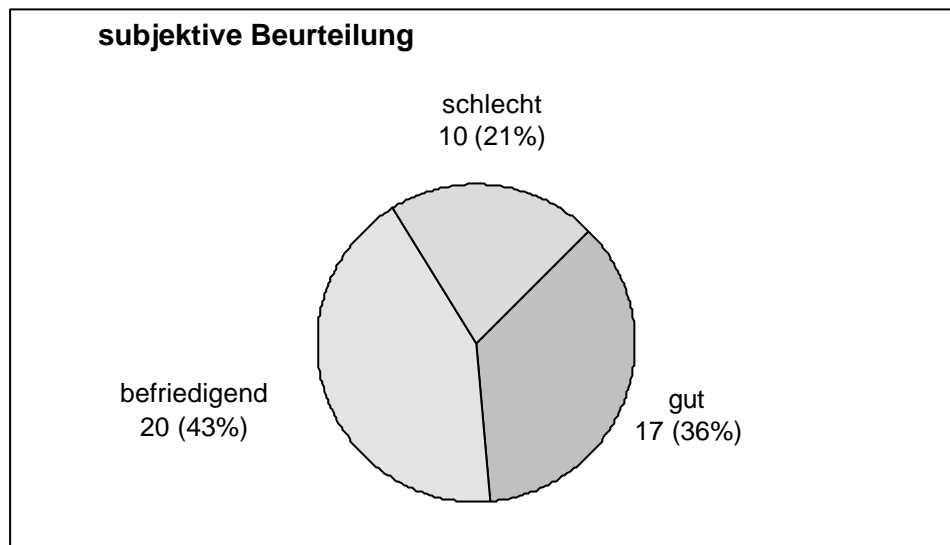


Abb. 12 Einstufung der subjektiven Beurteilungen mit Angabe der Fallzahlen und der Prozentwerte (n = 47)

3.6.2 Klinische Ergebnisse

Die Ergebnisse der äußeren Nachuntersuchung sind in Tab. 16 dargestellt, die Einstufung der Ergebnisse in drei Kategorien geht aus Abb. 13 hervor.

Untersuchungsinhalte	Häufigkeit
Rötung der Haut	6x
Störungen der Durchblutung und Hauttrophik	15x
Hautläsionen	3x
Narbenkeloid	12x
vergrößerte Fuß- und Unterschenkelkontur	28x
Schwellung	38x
Muskelatrophie	32x
Fehlstellungen im Bereich des Fußes oder Unterschenkels	14x
Druckschmerz	24x
ausgeprägte Sensibilitätsstörungen	25x
Fußbeschwellung vermindert oder asymmetrisch	16x
Schuheinlagen	5x
orthopädisches Schuhwerk	8x

Tab. 16 Ergebnisse der äußeren Nachuntersuchung (n = 45)

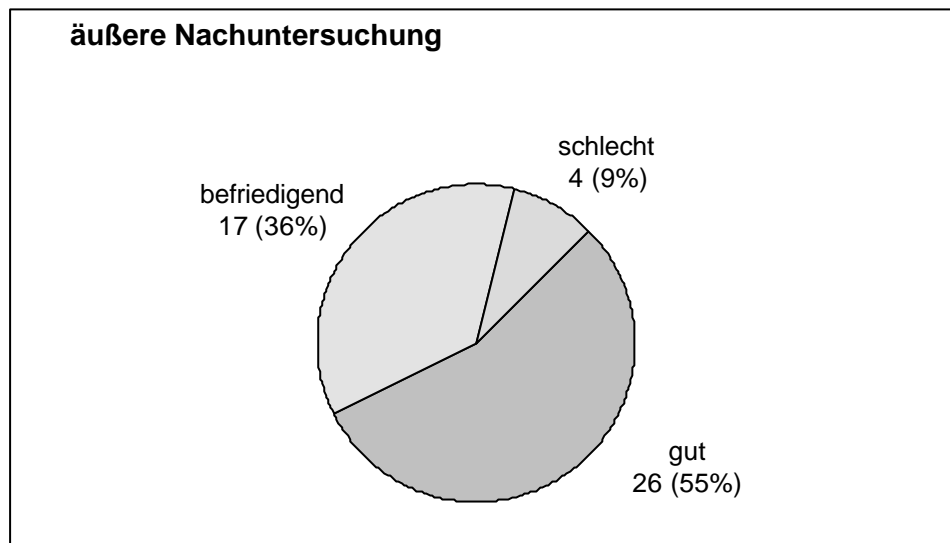


Abb. 13 Einstufung der äußeren Nachuntersuchungen mit Angabe der Fallzahlen und der Prozentwerte (n = 47)

Außergewöhnliche Befunde waren zweimal ein Fehlen des Retinaculum extensorum mit einer leichten Beeinträchtigung der Strecksehnenfunktion und einmal eine ventrale Luxation der Peroneussehne vor die Fibula.

Die Tab. 17 zeigt die Frakturklassifikationen, die Punktwerte der subjektiven Beurteilung und die Beweglichkeitsmessungen im Vergleich. Die Ergebnisse der Beweglichkeitsmessungen wurden in drei Kategorien eingestuft (siehe Abb. 14). Es gab außerdem einmal eine Einschränkung der Beweglichkeit im Kniegelenk (abgesehen von Fällen mit einer zusätzlichen Knieverletzung).

Nr.	Klassifikation	Subjektives Ergebnis (Punktezahl)	Beweglichkeit im OSG	Beweglichkeit im USG
1	B1.1	129	10 / 0 / 50	4/5
2	B2.3	139	15 / 0 / 60	3/4
3	B2.2	27 (AD geplant)	0 / 0 / 30	1/4
4	C2.2	138	15 / 0 / 40	4/5
5	B1.2	69	0 / 0 / 45	1
6	B1.1	81	0 / 0 / 30	1/2
7	B1.2	144	5 / 0 / 45	1/2
8	C3.3	87	5 / 0 / 30	1/5
9	C2.1	87	0 / 0 / 25	1/2
10	C2.3	42	0 / 30 / 30	0
11	C3.3	66	5 / 0 / 40	1/3
12	B2.1	120	5 / 0 / 35	2/3

13	B3.1	57	0 / 5 / 35	4/5
14	C3.3	63	0 / 10 / 40	2/3
15	C3.3	87	5 / 0 / 40	1/3
16	C2.3	57	5 / 0 / 40	2/3
17	B2.2	96	5 / 0 / 35	1/2
18	C2.3	114	0 / 0 / 50	1
19	C1.2	48	0 / 0 / 30	1
20	C2.2	51	15 / 0 / 50	2/3
21	C2.3	90	0 / 0 / 45	2/3
22	C1.3	144	10 / 0 / 45	1
23	B2.2	93	0 / 20 / 50	1/4
24	C2.1	30	0 / 5 / 30	1/3
25	C2.3	150	10 / 0 / 35	1
26	B1.1	150 (konservativ)	15 / 0 / 45	1
27	B1.3	138	10 / 0 / 55	1
28	C1.3	138	10 / 0 / 45	1
29	C3.3	27	0 / 0 / 35	0
30	C2.3	33	0 / 5 / 25	1/5
31	C2.3	54	0 / 0 / 45	2/3
32	C2.3	129	0 / 0 / 55	1
33	C2.2	96	0 / 10 / 40	2/3
34	C2.3	108	10 / 0 / 40	1/2
35	C2.1	81	20 / 0 / 40	1
36	C2.3	87	5 / 0 / 35	1
37	C3.2	45	5 / 0 / 35	1
38	C3.3	120	5 / 0 / 35	2/3
39	C3.2	99	5 / 0 / 60	1
40	C1.2	27	0 / 0 / 15	2/3
41	C2.2	78	10 / 0 / 65	1
42	C1.3	138	10 / 0 / 60	1
43	B1.3	144	15 / 0 / 50	1
44	C2.2	* (AD)	* (AD)	* (AD)
45	C2.1	80 (AD)	* (AD)	* (AD)
46	B1.2	135	10 / 0 / 45	1
47	B2.1	138	15 / 0 / 60	1
48	C1.3	90	10 / 0 / 40	1
49	C3.2	†	†	†
50	B3.3	†	†	†
51	C3.2	* (primäre AD)	* (primäre AD)	* (primäre AD)
52	C2.3	*	*	*
53	C1.3	*	*	*
54	C2.3	*	*	*

Tab. 17 Ergebnisse der subjektiven Beurteilung und der Beweglichkeitsmessung.
AD = Arthrodese, OSG = oberes Sprunggelenk, USG = unteres Sprunggelenk,
† = verstorben, *keine Nachuntersuchung

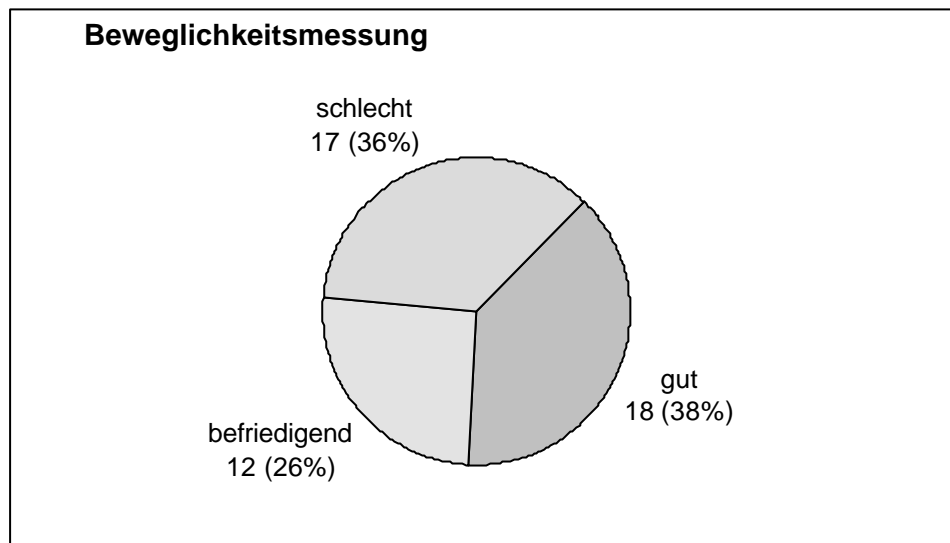


Abb. 14 Einstufung der Beweglichkeitsmessungen mit Angabe der Fallzahlen und der Prozentwerte (n = 47)

Die Ergebnisse der Funktionsprüfung sind in Tab. 18 zusammengefasst, sie wurden in drei Kategorien eingestuft (siehe Abb. 15).

Untersuchungsinhalte	Häufigkeit einer Behinderung
Gehen	16x
Laufen	27x
Hockstellung	30x
Einbeinstand	12x
Ballenstand	10x
Ballengang	11x
Hackenstand	16x
Hackengang	21x
Außenkantenstand	18x

Tab. 18 Ergebnisse der Funktionsprüfung (n = 44)

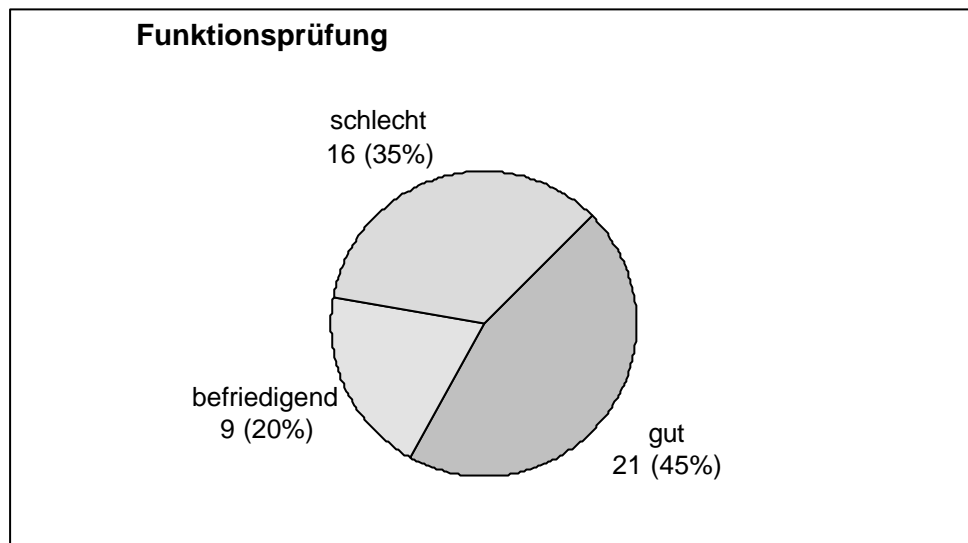


Abb. 15 Einstufung der Funktionsprüfungen mit Angabe der Fallzahlen und der Prozentwerte (n = 46)

3.6.3 Radiologische Ergebnisse

Die Ergebnisse der radiologischen Untersuchung hinsichtlich der Frakturstellung sind im Folgenden dargestellt (n = 45), die Einstufung dieser Repositionsergebnisse geht aus Abb. 16 hervor.

Axiale Dislokationen der Tibia traten 8mal auf:

- einmal Valgus (5°)
- 6mal Rekurvation (20°, 8°, 8°, 6°, 4°, 3°)
- einmal Valgus (12°) in Kombination mit Rekurvation (3°)

Varusstellung und Antekurvation kamen hingegen nicht vor.

Ein Klaffen der Malleolengabel gab es 4mal in folgendem Ausmaß:

- 2mal 1mm
- einmal 4mm
- einmal 5mm

Inkongruenzen der Gelenkflächen wurden in 24 Fällen festgestellt, die Höhe der Gelenkstufen betrug dabei:

- 12mal 1mm
- 9mal 2mm
- 2mal 3mm
- einmal 4mm

Es gab 10 Fälle von Tibiaverkürzung:

2mal 15 mm

3mal 10 mm

2mal 7 mm

3mal < 5mm

Der resultierende Beinlängenunterschied war bei Ausgleich durch eine Schuheinlage funktionell ohne Bedeutung.

Bei der radiologischen Nachuntersuchung fiel in 10 Fällen eine Synostose zwischen Tibia und Fibula auf, die sich meist auf Höhe der Metaphyse befand. Es handelte sich um Brückenkallus zwischen beiden Knochen, 3mal nach einer Fibulatrümmerfraktur. Sie war 6mal mit einer schlechten, 2mal mit einer befriedigenden und 2mal mit einer guten Beweglichkeit assoziiert.

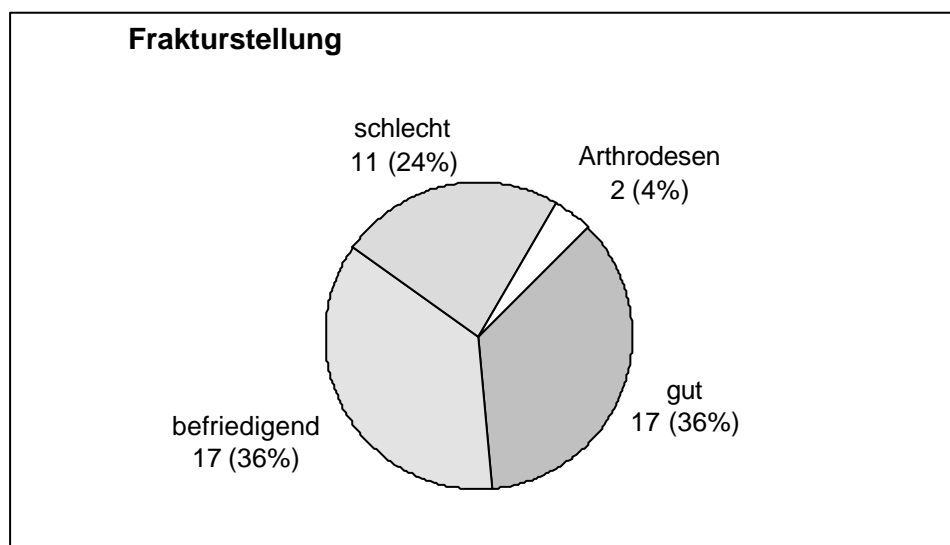


Abb. 16 Einstufung der Frakturstellungen mit Angabe der Fallzahlen und der Prozentwerte (n = 47)

Die einzelnen Arthrosezeichen kamen in folgenden Häufigkeiten vor (n = 45):

- subchondrale Sklerosierung 37mal
- Bildung von Osteophyten 26mal
- Gelenkspaltverschmälerung 18mal (davon einmal teilweise Durchbauung des Gelenkspaltes)
- Deformierung der Epiphyse
 - 3mal frontal
 - 12mal sagittal
 - 3mal frontal und sagittal
- arthrotische Geröllzysten
 - einmal in Tibia
 - einmal Talus
 - einmal in Tibia und Talus

Abb. 17 zeigt die Verteilung der Fälle auf die verschiedenen Arthrostadien.

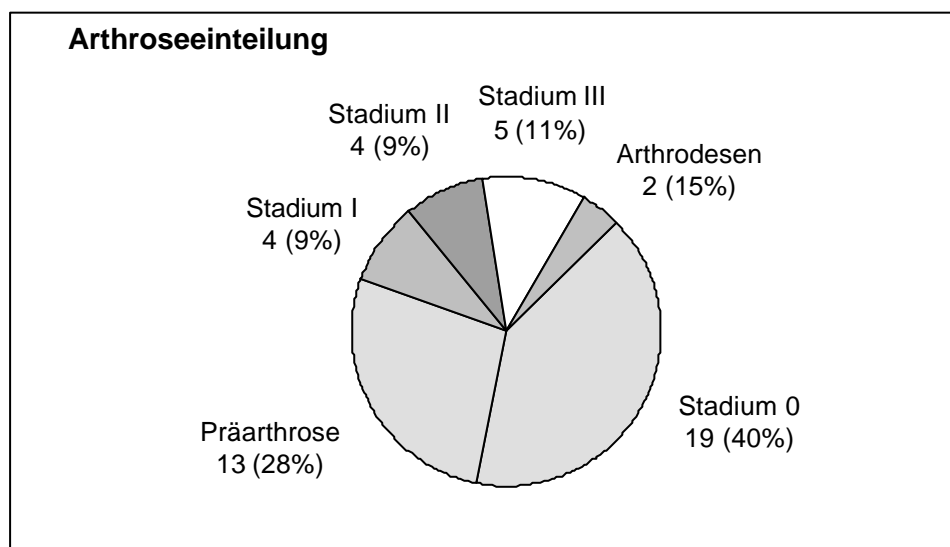


Abb. 17 Einstufung der Arthrosegrade mit Angabe der Fallzahlen und der Prozentwerte (n = 47)

3.6.4 Gesamtergebnisse

Die Gesamteinstufung der Frakturen nach den erläuterten Kriterien (siehe Kap. 2.2) geht aus Abb. 18 hervor.

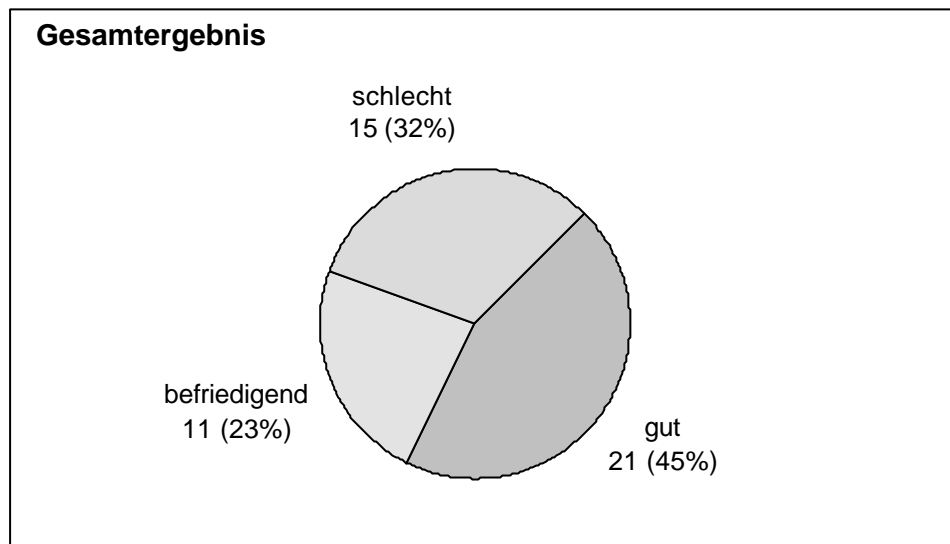


Abb. 18 Einstufung der Gesamtergebnisse mit Angabe der Fallzahlen und der Prozentwerte (n = 47)

In Abb. 19 sind alle Teilergebnisse der klinischen und radiologischen Untersuchungsabschnitte und die Gesamtergebnisse zusammenfassend dargestellt.

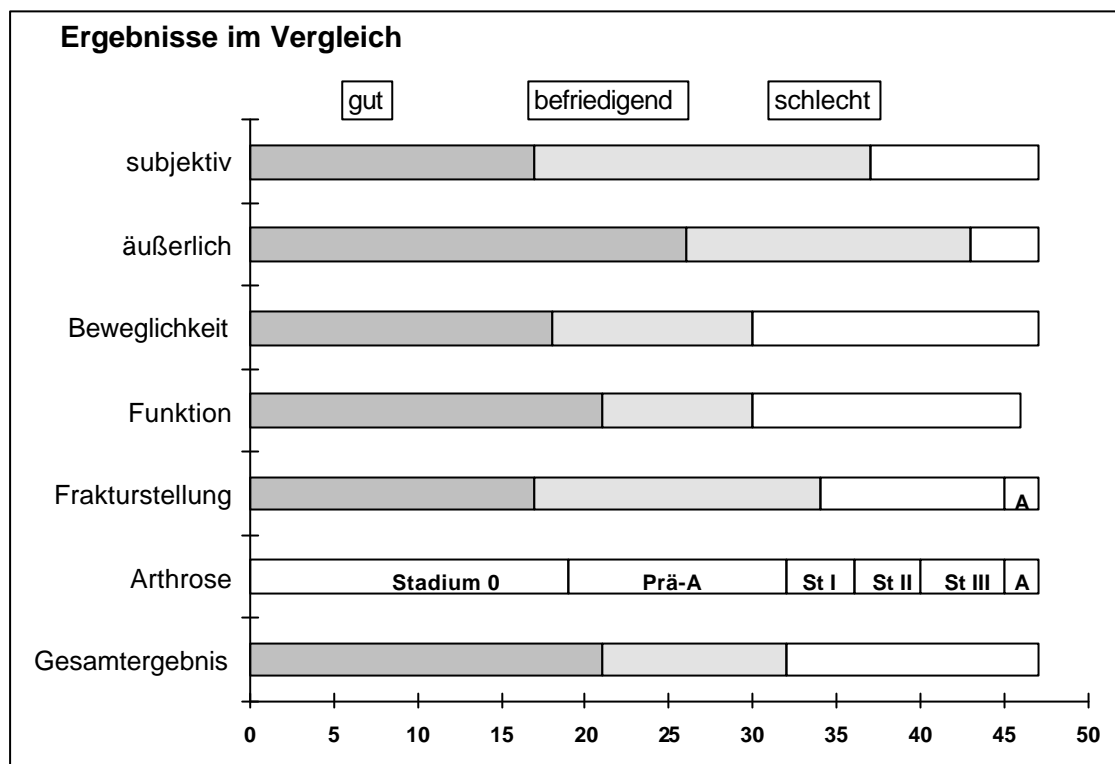


Abb. 19 Zusammenfassung der Ergebnisse
 (Prä-A = Präarthrose, St = Stadium, A = Arthrodese)
 Y-Achse: einzelne Abschnitte der Untersuchung
 X-Achse: Bewertungen mit Fallzahlen

3.7 Statistische Berechnungen

3.7.1 Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman

Die Zusammenhänge zwischen der internen Osteosynthese (Anzahl der Metallimplantate und Spongiosaplastiken) und den Komplikationen bzw. den klinischen und radiologischen Ergebnissen sind in Tab. 19 - 25 dargestellt. Es wurde von einer positiven Korrelation zwischen den Variablenpaaren ausgegangen: je höher der Wert der einen Variablen, desto höher der Wert der anderen Variablen. Die Formulierung lässt sich für jedes Variablenpaar herleiten, wenn man Definition und Rangwerte der Variablen berücksichtigt (siehe Kap. 8.2). Negative Zusammenhänge (r_s ist negativ) zwischen den Variablen wurden bei der Angabe der Irrtumswahrscheinlichkeiten vermerkt (sie waren nicht signifikant). Signifikante Korrelationen sind in den Tabellen dunkel hinterlegt.

Je schwerer die Fraktur, desto mehr knöcherne Komplikationen gab es (siehe Tab. 19).

	avaskuläre Nekrose	Störungen der Frakturheilung	knöcherne Komplikationen
Klassifikation	p = 0,011	p = 0,024	p = 0,006

Tab. 19 Irrtumswahrscheinlichkeiten p der Korrelationen zwischen der Frakturklassifikation und den knöchernen Komplikationen

Schwere Weichteilschädigung war nicht signifikant mit einer hohen Zahl an knöchernen Komplikationen assoziiert (außer der subkutane Weichteilschaden mit der Gesamtzahl der knöchernen Komplikationen, siehe Tab. 20).

	avaskuläre Nekrose	Störungen der Frakturheilung	knöcherne Komplikationen
Ursache	p = 0,361*	p = 0,221	p = 0,199
offener WTS	p = 0,466*	p = 0,113	p = 0,224
subkutaner WTS	p = 0,172	p = 0,063	p = 0,024

*es besteht eine negative Assoziation (r_s ist negativ)

Tab. 20 Irrtumswahrscheinlichkeiten p der Korrelationen zwischen der Unfallursache bzw. dem Weichteilschaden (= WTS) und den knöchernen Komplikationen

Je mehr Implantate bei der Osteosynthese angebracht wurden, desto mehr knöcherne Komplikationen gab es (siehe Tab. 21)

	avaskuläre Nekrose	Störungen der Frakturheilung	knöcherne Komplikationen
Metall	p = 0,001	p = 0,011	p = 0,001
Spongiosa-plastik	p = 0,000	p = 0,002	p = 0,000

Tab. 21 Irrtumswahrscheinlichkeiten p der Korrelationen zwischen der Menge an Implantaten und den knöchernen Komplikationen

Es gab zum Teil unterschiedlich starke Korrelationen zwischen hoher Frakturschwere und schlechten Untersuchungsergebnissen (siehe Tab. 22).

	subjektiv	äußerlich	Beweglichkeit	Funktion	Frakturstellung	Arthrose	Gesamtergebnis
Klassif.	p = 0,028	p = 0,011	p = 0,173	p = 0,030	p = 0,056	p = 0,072	p = 0,043

Tab. 22 Irrtumswahrscheinlichkeiten p der Korrelationen zwischen der Frakturklassifikation (= Klassif.) und den Untersuchungsergebnissen

Die Stärke der Korrelationen zwischen schwerer Weichteilschädigung und schlechten Untersuchungsergebnissen war weit gestreut (siehe Tab. 23).

	subjektiv	äußerlich	Beweglichkeit	Funktion	Frakturstellung	Arthrose	Gesamtergebnis
Urs.	p = 0,017	p = 0,054	p = 0,026	p = 0,042	p = 0,321	p = 0,186	p = 0,058
off. WTS	p = 0,104	p = 0,017	p = 0,130	p = 0,071	p = 0,358	p = 0,060	p = 0,101
subk. WTS	p = 0,040	p = 0,003	p = 0,136	p = 0,025	p = 0,471*	p = 0,027	p = 0,037

*es besteht eine negative Assoziation (r_s ist negativ)

Tab. 23 Irrtumswahrscheinlichkeiten p der Korrelationen zwischen der Unfallursache (= Urs.) bzw. dem Weichteilschaden (off.WTS = offener Weichteilschaden, subk.WTS = subkutaner Weichteilschaden) und den Untersuchungsergebnissen

Je mehr knöcherne Komplikationen, desto schlechter waren die Untersuchungsergebnisse (siehe Tab. 24).

	subjektiv	äußerlich	Beweglichkeit	Funktion	Frakturstellung	Arthrose	Gesamtergebnis
av.Nekr.	p = 0,007	p = 0,002	p = 0,024	p = 0,002	p = 0,013	p = 0,000	p = 0,001
Störung Fraktur Heilung	p = 0,001	p = 0,000	p = 0,006	p = 0,001	p = 0,034	p = 0,001	p = 0,001
knöch. Komplik.	p = 0,002	p = 0,000	p = 0,008	p = 0,001	p = 0,069	p = 0,000	p = 0,001

Tab. 24 Irrtumswahrscheinlichkeiten p der Korrelationen zwischen den knöchernen Komplikationen (av.Nekr. = avaskuläre Nekrose, knöch.Komplik. = knöcherne Komplikationen) und den Untersuchungsergebnissen

Je mehr Spongiosaplastiken, desto schlechter waren die Untersuchungsergebnisse. Bei den Metallimplantaten war der Zusammenhang meistens nicht signifikant (siehe Tab. 25).

	subjektiv	äußerlich	Beweglichkeit	Funktion	Frakturstellung	Arthrose	Gesamtergebnis
Met.	p = 0,098	p = 0,020	p = 0,396	p = 0,137	p = 0,267	p = 0,100	p = 0,136
Sp.	p = 0,020	p = 0,027	p = 0,092	p = 0,013	p = 0,034	p = 0,000	p = 0,016

Tab. 25 Irrtumswahrscheinlichkeiten p der Korrelationen zwischen der Menge an Implantaten (Met. = Metall, Sp. = Spongiosaplastik) und den Untersuchungsergebnissen

3.7.2 Wilcoxon-Mann-Whitney Test

Es wurden die 40 konventionellen Osteosynthesen mit den 12 „biologischen“ Osteosynthesen hinsichtlich ihrer Komplikationen und Ergebnisse verglichen. Die errechnete Irrtumswahrscheinlichkeit p sagt etwas darüber aus, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Ergebnisse der beiden Gruppen für die untersuchten Variablen aus einer Population entstammen.

Die Verteilung der Frakturklassifikationen, also der Schweregrade der Frakturen, geht aus Tab. 26 hervor. Insgesamt unterschieden sich die Kollektive bezüglich der Frakturschwere nicht signifikant ($p = 0,278$)

Klassifikation	B1	B2	B3	C1	C2	C3
„biologische“ Osteosynthese	1			3	6	2
konventionelle Osteosynthese	6	6	1	4	15	8

Tab. 26 Osteosynthesemethode mit Zuordnung der Frakturklassifikationen (grobe Einteilung) (n = 52)

Die knöchernen Komplikationen sind in Tab. 27 bis Tab. 29 dargestellt. Neben den dargestellten Komplikationen kam es nach konventioneller Osteosynthese auch 3mal zur Ostitis. Die Unterschiede bei den avaskulären Nekrosen ($p = 0,041$) und der Gesamtzahl der knöchernen Komplikationen ($p = 0,021$) waren signifikant, bei der Frakturheilung ($p = 0,156$) waren sie weniger deutlich.

Avaskuläre Nekrose	ja	nein
„biologische“ Osteosynthese		12
konventionelle Osteosynthese	12	23

Tab. 27 Osteosynthesemethode und Anzahl der avaskulären Nekrosen (n = 47)

Frakturheilung	regelmäßig	verzögert	Nonunion
„biologische“ Osteosynthese	12		
konventionelle Osteosynthese	28	4	3

Tab. 28 Osteosynthesemethode und Anzahl der Frakturheilungsstörungen (n = 47)

Knöchernen Komplikation	0	1	2	3	4
„biologische“ Osteosynthese	12				
konventionelle Osteosynthese	21	3	5	5	1

Tab. 29 Osteosynthesemethode und Anzahl der knöchernen Komplikationen pro Fall (n = 47)

Die klinischen und radiologischen Nachuntersuchungsergebnisse gehen aus Tab. 30 bis Tab. 36 hervor. Die Unterschiede waren alle signifikant (subjektiv $p = 0,050$; äusserlich $p = 0,003$; Beweglichkeit $p = 0,014$; Funktion $p = 0,016$; Frakturstellung $p = 0,012$; Arthrose $p = 0,003$; Gesamtergebnis $p = 0,006$).

subjektiv	gut	befriedigend	schlecht
„biologische“ Osteosynthese	6	3	1
konventionelle Osteosynthese	11	17	9

Tab. 30 Osteosynthesemethode und Ergebnisse der subjektiven Beurteilung
(n = 47)

äußerlich	gut	befriedigend	schlecht
„biologische“ Osteosynthese	10		
konventionelle Osteosynthese	16	17	4

Tab. 31 Osteosynthesemethode und Ergebnisse der äußeren Nachuntersuchung
(n = 47)

Beweglichkeit	gut	befriedigend	schlecht
„biologische“ Osteosynthese	6	4	
konventionelle Osteosynthese	12	8	17

Tab. 32 Osteosynthesemethode und Ergebnisse der Beweglichkeitsmessung
(n = 47)

Funktion	gut	befriedigend	schlecht
„biologische“ Osteosynthese	7	3	
konventionelle Osteosynthese	14	6	16

Tab. 33 Osteosynthesemethode und Ergebnisse der Funktionsprüfung (n = 46)

Frakturstellung	gut	befriedigend	schlecht	Arthrodeese
„biologische“ Osteosynthese	4	3	3	
konventionelle Osteosynthese	13	14	8	2

Tab. 34 Osteosynthesemethode und Bewertungen der Frakturstellung (n = 47)

Arthrose	St. 0	Präarthrose	St. I	St. II	St. III	Arthrodeese
„biologische“ Osteosynthese	9	1				
konventionelle Osteosynthese	10	12	4	4	5	2

Tab. 35 Osteosynthesemethode und Ergebnisse der Arthrose-einteilung (St. = Stadium) (n = 47)

Gesamtergebnis	gut	befriedigend	schlecht
„biologische“ Osteosynthese	8	2	
konventionelle Osteosynthese	13	9	15

Tab. 36 Osteosynthesemethode und Gesamtergebnisse (n = 47)

3.8 Fallübersicht

Nr.	Init.	Alter	Seite	Klassifikation	offene Fraktur	Weichteilschaden	Vorbehandlung	„biologische“ Osteosynthese	Zeitpunkt nach OP (Monate)
1	WR	38	re	B1.1			Gips		44
2	IR	55	re	B2.3		Hämatom	Extension		64
3	BW	40	re	B2.2	2°offen	Kontusion	sofortige OP		20
4	HB	61	re	C2.2	3°offen	Kontusion	Gips	ja	43
5	IW	45	re	B1.2			Gips		62
6	EM	59	li	B1.1			Gips		25
7	HV	58	re	B1.2		Kontusion	Gips		63
8	RK	48	li	C3.3		Kontusion Kompartmentsyndrom	Fixateur externe Faszienspaltung		27
9	MB	52	re	C2.1			Gips		69
10	HB	55	re	C2.3	4°offen	subtotale Amputation	Fixateur externe Re-Vaskularisierung		73
11	WA	50	li	C3.3	2°offen	Kontusion	Extension		76
12	RB	25	li	B2.1	2°offen	Kontusion	Gips		33
13	EB	37	re	B3.1	2°offen	Kontusion	Minimal-Osteosynthese + Fixateur externe		67
14	EB	37	li	C3.3		Hämatom	Fixateur externe		67
15	RP	19	li	C3.3		Kontusion	Extension		63
16	WT	37	li	C2.3	2°offen	Kontusion	Extension		63
17	AH	48	li	B2.2		Hämatom	Gips		78
18	WK	42	li	C2.3		Hämatom	Extension		86
19	AP	63	li	C1.2			Gips	ja	17
20	KM	44	li	C2.2	2°offen	Kontusion	Gips		72
21	RB	27	li	C2.3		Hämatom	Extension		35
22	WM	53	li	C1.3			Extension		64
23	CF	24	re	B2.2			Gips		67
24	JE	27	li	C2.1		Hämatom	Extension		38
25	HZ	58	re	C2.3			Extension		51
26	PS	69	li	B1.1			Gips	konservativ	25
27	WP	46	re	B1.3		Hämatom	Gips	ja	43
28	PH	37	li	C1.3			Extension	ja	39
29	DP	34	li	C3.3		Kontusion	Gips		69
30	KS	44	re	C2.3	2°offen	Kontusion	Gips		27
31	EB	45	li	C2.3		Hämatom	Extension		39
32	MM	67	li	C2.3			Extension		32
33	JM	40	re	C2.2		Kontusion	Extension		85
34	HS	49	re	C2.3			Fixateur externe	ja	15
35	BL	37	li	C2.1			Gips	ja	40
36	HD	39	re	C2.3	1°offen	Hämatom	Extension		14
37	TM	54	li	C3.2		Hämatom	Extension		27
38	UW	32	li	C3.3	1°offen	Kontusion	Extension	ja	16
39	IS	66	re	C3.2		Hämatom	Extension	ja	12
40	PR	55	re	C1.2			Extension		22
41	JC	21	li	C2.2	3°offen	Kontusion	Gips	ja	51
42	NS	25	li	C1.3			Gips	ja	19
43	DU	32	re	B1.3		Hämatom	Extension		69
44	OJ	78	re	C2.2		Hämatom	Extension		*
45	AB	61	li	C2.1			Gips		35
46	EM	75	li	B1.2			Gips		40
47	PE	22	li	B2.1		Hämatom	Gips		67
48	FM	46	li	C1.3			Extension		17
49	TP	56	re	C3.2		Kontusion	FE		†
50	TP	56	li	B3.3		Kontusion	Extension		†
51	ES	78	li	C3.2	2°offen	Kontusion	Gips	primäre AD	*

52	SS	35	li	C2.3			Extension	ja	*
53	RS	46	li	C1.3		Hämatom	Extension		*
54	BS	49	li	C2.3			Extension	ja	*

(Nr. = Nummer, Init. = Initialen, OP = Operation, re = rechts, li = links, † = verstorben, AD = Arthrodesse)

*keine Nachuntersuchung

Nr.	knöcherne Komplikationen	subjektives Ergebnis	Funktion	Beweglichkeit	Fraktur- Stellung	Arthrose- Einteilung	Gesamt- Ergebnis
1		gut	gut	gut	gut	Stadium 0	gut
2		gut	gut	gut	mäßig	Präarthrose	gut
3		schlecht	schlecht	schlecht	gut	Stadium I	schlecht (AD geplant)
4		gut	gut	gut	gut	Stadium 0	gut
5		mäßig	gut	mäßig	schlecht	Stadium 0	mäßig
6		mäßig	mäßig	schlecht	mäßig	Stadium 2	mäßig
7		gut	gut	gut	gut	Präarthrose	gut
8	Nekrose, Sequester, verzögerte Frakturheilung	mäßig	schlecht	schlecht	schlecht	Stadium 3	schlecht
9		mäßig	mäßig	schlecht	schlecht	Stadium 2	mäßig
10	Ostitis, Sequester, verzögerte Frakturheilung	schlecht	schlecht	schlecht	mäßig	Stadium 3	schlecht
11		mäßig	schlecht	gut	gut	Präarthrose	mäßig
12		gut	gut	mäßig	gut	Präarthrose	gut
13	Nekrose, Sequester	mäßig	schlecht	schlecht	schlecht	Stadium 3	schlecht
14	Nekrose	mäßig	schlecht	schlecht	schlecht	Stadium 3	schlecht
15		mäßig	gut	schlecht	mäßig	Präarthrose	mäßig
16	Ostitis, Sequester, Nekrose, Non-Union	mäßig	mäßig	mäßig	mäßig	Stadium 1	mäßig
17		mäßig	mäßig	schlecht	gut	Präarthrose	mäßig
18		gut	gut	gut	gut	Stadium 0	gut
19		schlecht	mäßig	mäßig	mäßig	Stadium 0	mäßig
20		mäßig	schlecht	schlecht	schlecht	Präarthrose	schlecht
21	Nekrose	mäßig	gut	gut	gut	Präarthrose	gut
22		gut	gut	mäßig	mäßig	Stadium 0	gut
23		mäßig	schlecht	schlecht	mäßig	Stadium 1	schlecht
24	Nekrose	schlecht	schlecht	schlecht	mäßig	Stadium 3	schlecht
25	Nekrose	gut	gut	gut	schlecht	Präarthrose	gut
26		(gut)	(gut)	(gut)	(gut)	(Stadium 0)	(gut)
27		gut	gut	gut	gut	Stadium 0	gut
28		gut	gut	gut	schlecht	Stadium 0	gut
29		schlecht	schlecht	mäßig	schlecht	Stadium 0	schlecht
30	Nekrose, Sequester, verzögerte Frakturheilung	schlecht	schlecht	schlecht	mäßig	Präarthrose	schlecht
31	Nekrose, Sequester	mäßig	schlecht	mäßig	mäßig	Stadium 2	schlecht
32		gut	gut	gut	gut	Stadium 0	gut
33	Ostitis, Sequester	mäßig	mäßig	schlecht	gut	Präarthrose	mäßig
34		gut	gut	mäßig	schlecht	Stadium 0	gut
35		mäßig	mäßig	mäßig	mäßig	Stadium 0	mäßig
36		mäßig	mäßig	mäßig	mäßig	Präarthrose	mäßig
37	Nekrose, Nonunion	schlecht	schlecht	mäßig	mäßig	Stadium 2	schlecht
38		gut	gut	mäßig	schlecht	Präarthrose	gut
39		mäßig	mäßig	gut	gut	Stadium 0	gut
40		schlecht	schlecht	schlecht	mäßig	Stadium 1	schlecht
41		mäßig	gut	gut	gut	Stadium 0	gut
42		gut	gut	gut	mäßig	Stadium 0	gut
43		gut	gut	gut	gut	Stadium 0	gut
44	Nekrose, verzögerte Frakturheilung	AD	AD	AD	AD	AD	schlecht (AD)
45	Nekrose, Non-Union	schlecht	AD	AD	AD	AD	schlecht
46		gut	gut	gut	gut	Stadium 0	gut
47		gut	fehlt	gut	mäßig	Stadium 0	gut
48		mäßig	gut	gut	gut	Stadium 0	gut
49	†	†	†	†	†	†	†
50	†	†	†	†	†	†	†
51	primäre AD	primäre AD	primäre AD	primäre AD	primäre AD	primäre AD	primäre AD

52	*	*	*	*	*	*	*
53	*	*	*	*	*	*	*
54	*	*	*	*	*	*	*

Tab. 37: Übersicht über alle Frakturen und Ergebnisse

(AD = Arthrodese, † = verstorben)

3.9 Kasuistik

Beispiel für eine konventionelle Osteosynthese (Bilderreihe 1a-g):

(Fall Nr.8 aus der Fallübersicht Kap. 3.8)

vollständige (zirkuläre) Gelenkfraktur mit Dissoziation der Gelenkfläche (komplex) und in die Diaphyse verlaufend, eingeteilt als C3.3

48jähriger Mann, Sturz aus der Höhe mit axialer Stauchung, geschlossene Fraktur mit Weichteilkontusion, suprasyndesmale Fibulafraktur

1a Unfalltag

1b Erstversorgung durch Fixateur externe und Faszienpaltung

1c nach 12 Tagen Osteosynthese der Tibia mit Kleeplatte medial, Osteosynthese der Fibula mit 6-Loch-Drittelrohrplatte, ausgedehnte Impressionen der Gelenkfläche mit großen Defekten lateral, dorsal und zentral, Auffüllung mit autogener und allogener Spongiosa.

1d 12 Tage postoperativ

1e 5 Monate postoperativ verzögerte Frakturheilung

1f 6 Monate postoperativ Zeichen der knöchernen Durchbauung

1g 26 Monate postoperativ Nachuntersuchung. Frakturheilung abgeschlossen, jedoch knöcherne Komplikationen deutlich erkennbar: Sequester (zentral), aseptische Nekrosen. Beurteilung: Frakturstellung schlecht (komplette Inkongruenz der Gelenkfläche, Synostose zwischen Tibia und Fibula), Arthrose Grad III, subjektiv und äußerlich mäßig, Funktion und Beweglichkeit schlecht, orthopädisches Schuhwerk, Gesamteinstufung schlecht.



1a frontal



sagittal



1b frontal



sagittal



1c



1d



1e



1f



1g frontal



sagittal

Beispiel für eine biologische Osteosynthese (Bilderreihe 2 a-h):

(Fall Nr.38 aus der Fallübersicht Kap. 3.8)

vollständige (zirkuläre) Gelenkfraktur mit Dissoziation der Gelenkfläche (komplex) und in die Diaphyse verlaufend, eingeteilt als C3.3

32jährige Frau, Sturz aus der Höhe mit axialer Stauchung, 1.-gradig offene Fraktur mit Weichteilkontusion, infra- und suprasyndesmale Fibulafraktur, Innenknöchelfraktur

2a Unfalltag

2b nach 8 Tagen intraoperativ: indirekte Reposition mit Distraktor, Osteosynthese der Fibula mit 4-Loch-Drittelrohrplatte, die Rekonstruktion des Pilon tibiale erfolgt vom Gelenk aus, der Periostschlauch bleibt ventral erhalten, Verzicht auf laterale Darstellung der Tibia (laterale Fragmente werden transkutan reponiert), Schrauben werden größtenteils blind gesetzt.

2c komplette Osteosynthese der Tibia mit medialer Kleeplatte und Verschraubung, Zuggurtung des Innenknöchels, es verbleiben große ventrale Knochendefekte

2d zusätzlich Fixateur externe

2e 6 Tage postoperativ (19 Tage postoperativ Revision, Austausch einiger Plattenschrauben zur Fixierung eines lateralen Fragmentes mit Zugschrauben, allogene Spongiosaplastik der Tibia nur im großen Frakturspalt als zweizeitiges Verfahren)

2f 5 Monate postoperativ, keine Störung der Frakturheilung

2g 8½ Monate postoperativ

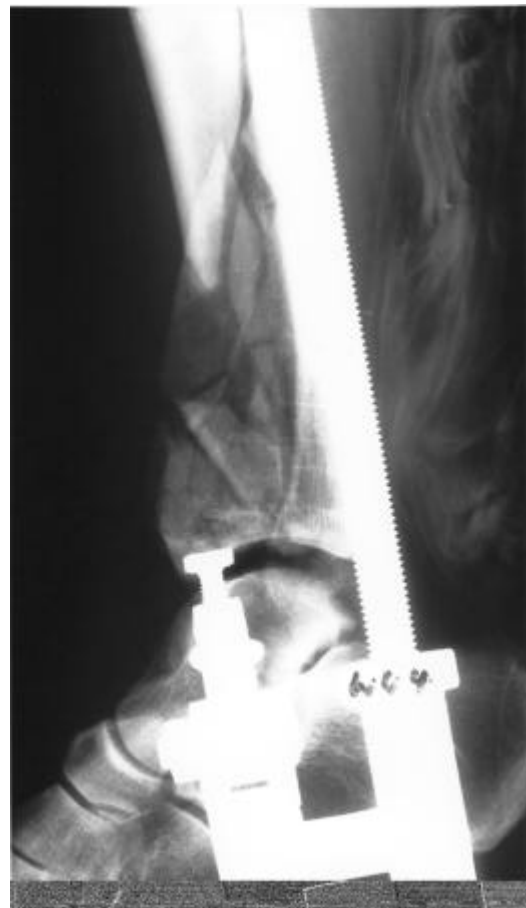
2h 16 Monate postoperativ Nachuntersuchung. Beurteilung: Frakturstellung gut (regelrechte Achsenstellung und Kongruenz der Gelenkfläche, leichte Verkürzung der Tibialänge um 10 mm), Präarthrose, subjektiv und äußerlich gut, Funktion gut, Beweglichkeit mäßig, Gesamteinstufung gut.



2a frontal



sagittal

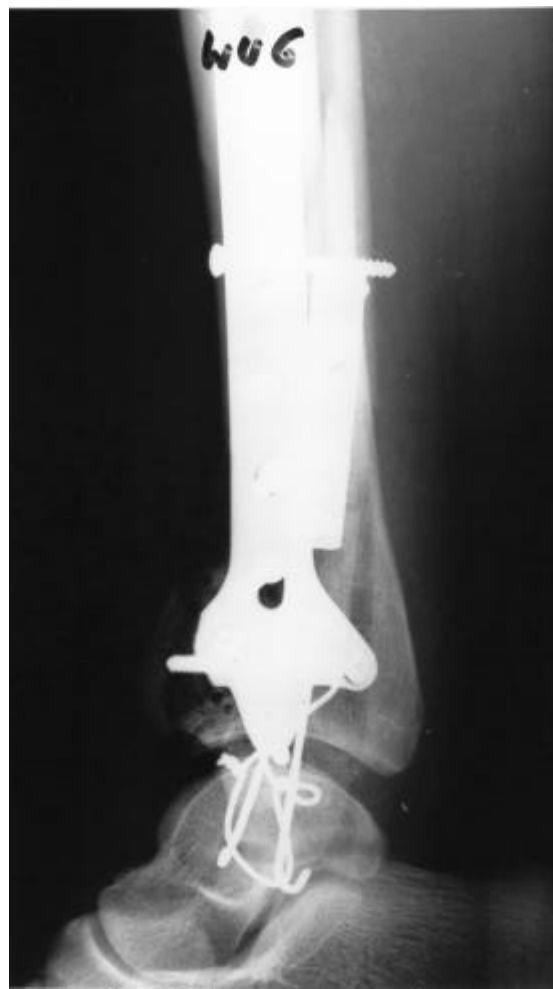


2b frontal

sagittal



2c frontal



sagittal



2d

2e



2f sagittal

frontal



2g sagittal

frontal



2h frontal



sagittal

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Methodik

4.1.1 Subjektive Kriterien

Bei der Befragung der Patienten lag ein Schwerpunkt auf der Schmerzbeurteilung. Um diesen subjektiv sehr relevanten Bereich ausreichend zu berücksichtigen, bezogen sich 8 Fragen auf Schmerzempfindungen; die Frage nach der Medikamenteneinnahme ist ebenfalls ein Schmerzindikator.

Die Bewertung basierte auf einem Punktesystem, damit verschiedene Kriterien anteilig in der gewünschten Gewichtung einfließen konnten und die Endnote automatisch aus dem Zusammenzählen der Punkte resultierte. Ein Punktesystem konnte der subjektiven Beurteilung differenziert Rechnung tragen, wie auch bei Rüedi et al. (1968) oder Teeny u. Wiss (1993) zu sehen ist.

4.1.2 Klinische Kriterien

Es zeigte sich, dass die Pilon-tibial-Frakturen oft erhebliche Mobilitätseinbußen im unteren Sprunggelenk nach sich zogen (siehe Tab. 17). Diese Einschränkungen wurden bei der Beurteilung der Beweglichkeit jedoch nicht berücksichtigt, da sie verglichen mit den Mobilitätseinbußen im oberen Sprunggelenk geringere Auswirkungen haben. Die Gesamteinstufung der Beweglichkeit basierte daher alleine auf der Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk.

Die in der Literatur zugrunde gelegten Bewertungsmaßstäbe für das obere Sprunggelenk variieren erheblich. Beispielsweise bei Ayeni (1988) werden Einschränkungen der normalen Beweglichkeit von 50 – 75% als befriedigend klassifiziert, wohingegen Ovadia u. Beals (1986) Einschränkungen bis 50% noch mit gut bewerten. Bei den eigenen Einstufungskriterien wurde von der Beweglichkeit des anderen Beines als normaler Beweglichkeit ausgegangen, da sich so ein zuverlässiger Referenzwert ergab. Es wurde versucht, eine der funktionellen Bedeutung entsprechende Einstufung der Einschränkungen zu finden. Ergänzt wurde die Untersuchung durch eine Funktionsprüfung und durch eine äußere Begutachtung des Beines, bei der durch ein Punktesystem die verschiedenen Kriterien gleichmäßig berücksichtigt werden konnten.

Manche Autoren verwenden vier Einstufungskategorien, wobei sie zwischen sehr gut, gut, befriedigend und schlecht unterscheiden (z. B. Ovadia u. Beals 1986, Teeny u. Wiss 1993, Tornetta et al. 1993). Eine solche Unterteilung der guten Ergebnisse in zwei Kategorien führt jedoch bei nur einer Gruppe mit schlechten Ergebnissen zu einer ungleichmäßigen Skala. Daher wurden bei den eigenen Einstufungen nur drei Kategorien gewählt. Es ließ sich damit später auch leichter die Gesamteinstufung durch den rechnerischen Mittelwert aller Teilergebnisse ermitteln.

4.1.3 Radiologische Kriterien

Bei der Beurteilung der Frakturstellung wurde die Tibiaverkürzung nicht als Einstufungsmerkmal berücksichtigt, da sie für die spätere Entwicklung einer Arthrose unbedeutend ist und durch eine Schuherhöhung ausgeglichen werden kann.

Es ergab sich folgende Schwierigkeit bei der Einstufung der Arthrosegade: Bargon (1978) zeigte mit seiner Studie, dass der Sklerose der Druckaufnahmezone ohne Gelenkspaltverschmälerung prognostisch und klinisch keine besondere Bedeutung zukommt. Spätkontrollen seines Beobachtungsgutes ergaben bei den Patienten, die bis 39 Wochen nach dem Unfallereignis eine Arthrose der Grade I-III aufwiesen, eine gesetzmäßige Verschlechterung. Bei allen anderen Patienten mit dem Arthrosegrad 0 konnte jedoch kein Übergang zum Arthrosegrad I beobachtet werden.

Hier gab es einige Fälle, die sich weder dem Arthrosegrad 0 noch dem Arthrosegrad I zuordnen ließen. Das entscheidende Kriterium für eine Arthrose des Grades I besteht in dem Vorhandensein einer Gelenkspaltverschmälerung. Diese Bedingung war bei einigen Patienten nicht erfüllt, sie ließen sich aber auch nicht als Arthrosegrad 0 einteilen, da sie neben einer Sklerose starke Randwulstbildungen erkennen ließen. Diese Fälle wurden als „Präarthrosen“ eingeteilt, die bei Fehlen einer Gelenkspaltverschmälerung durch Sklerose und Osteophyten gekennzeichnet sind.

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Arthrosegrad und dem Zeitraum von der Operation bis zur Nachuntersuchung bestand nicht ($p = 0,225$ für den Korrelationskoeffizienten nach Spearman). Dies spricht dafür, dass der Zeitraum zwischen Operation und Untersuchung mit mindestens 12 Monaten für die

Entwicklung von Arthrosen ausreichend bemessen war und keine weitere Verschlechterung der Ergebnisse zu erwarten ist. In der Literatur überwiegt ebenfalls die Meinung, dass nur ein kurzes Zeitintervall bis zur Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose vergeht. Es werden Zeiträume von einem bis maximal zwei Jahren genannt, wonach keine neuen Arthrosen mehr zu erwarten seien (Bargon 1978, Kellam u. Waddell 1979, Lamprecht u. Ochsner 1984, Nast-Kolb et al. 1993, Resch et al. 1986a, Rüedi 1973, Teeny u. Wiss 1993).

4.1.4 Statistische Berechnungen

Es stellt sich die Frage, ob zwei Kollektive mit so unterschiedlichen Fallzahlen überhaupt miteinander verglichen werden können. Dazu lässt sich sagen: Nicht-parametrische Methoden sind generell robust gegen ein unbalanciertes Studiendesign, d.h. unterschiedliche Fallzahlen der Gruppen, da sie ohne die zusätzlichen Modellannahmen der parametrischen Methoden auskommen. Bei den angewandten Methoden (der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman und der Wilcoxon-Mann-Whitney Test) handelt es sich um nicht-parametrische Methoden (Siegel u. Castellan 1988).

Die Werte einer Zielgröße können von Drittvariablen abhängig sein, die einen Zusammenhang zwischen den untersuchten Hauptvariablen vortäuschen oder verdecken. Mögliche Störvariablen wurden daher soweit bekannt miterfasst (Frakturklassifikation, Unfallursache und Weichteilschaden), um sie bei der Interpretation berücksichtigen zu können. Manche Einflussfaktoren wurden wegen ihrer Seltenheit im eigenen Kollektiv nicht berücksichtigt, dazu zählen Talusfrakturen und Ostitis. Knochensequester werden in der Literatur kaum erwähnt und hatten auch hier als eigenständige Komplikation keine Bedeutung, sie wurden daher nicht extra untersucht. Für die Gesamtzahl der knöchernen Komplikationen wurden jedoch auch Ostitis und Sequester mitgezählt.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Diskussion der Komplikationen

Weichteilkomplikationen zählten im eigenen Krankengut mit 38% zu den häufigsten Komplikationen (23% Hautnekrosen, 17% Weichteilinfektionen). In der

Literatur lassen sich unterschiedliche Zahlen zu Weichteilkomplikationen finden (siehe Tab. 38, Seite 94). Hohe Raten an Weichteilkomplikationen wurden von Autoren angegeben, deren Kollektive sich mehrheitlich aus hohen Frakturschweregraden mit erheblicher Weichteilschädigung zusammensetzten (Rommens et al. 1994: 67% C-Frakturen, Teeny u. Wiss 1993: 50% Trümmerfrakturen). Manche Autoren berichteten über eine hohe Rate an Infektionen und Weichteilkomplikationen, ohne Zahlen anzugeben (Höntzsch et al. 1990, Lamprecht u. Ochsner 1984, McFerran et al. 1992, Pierce u. Heinrich 1979). Auch bei diesen handelt es sich um Kollektive, bei denen die Mehrzahl der Patienten ein Trauma mit hoher Gewalteinwirkung und entsprechender Knochen- und Weichteilschädigung erlitten hatte.

Die Komplikationsrate im eigenen Kollektiv ist angesichts der 41% Frakturen mit primärer Weichteilschädigung und der 72% C-Frakturen erwartungsgemäß hoch. Wenige Autoren fanden unter solchen Bedingungen niedrigere Raten an Weichteilkomplikationen: Leone et al. 1993 - 9%, Welz 1982 - 6%. In diesen beiden Kollektiven kamen indirekte Repositionsmethoden und limitierte Osteosynthese zum Einsatz.

Für einige Patienten, die trotz erheblicher Beschwerden von sich aus keine ärztliche Hilfe suchten, waren die Nachuntersuchungen von Nutzen, denn dadurch konnten weitere Behandlungsmaßnahmen vorgeschlagen werden. Eine routinemäßige Nachkontrolle dieser komplikationsreichen Frakturen erscheint sinnvoll. Die Komplikationsrate spiegelt sich auch in der Häufigkeit der sekundären Eingriffe wider, allein 19% Reosteosynthesen im eigenen Kollektiv verdeutlichen die technischen Schwierigkeiten der Operation. Es gab in bezug auf die Rate an Reosteosynthesen einen Unterschied zwischen den biologischen Osteosynthesen (8%) und den konventionellen Osteosynthesen (23%). Die Summe aller sekundären Eingriffe betrug 50, also durchschnittlich fast einer pro Fall.

In der Literatur werden ähnliche Angaben gemacht. McFerran et al. (1992) führten in einem Kollektiv von 52 Frakturen insgesamt 77 sekundäre Eingriffe bei 21 Brüchen durch. Rommens et al. (1994) gaben ebenfalls zahlreiche sekundäre Weichteil- und Knocheneingriffe an, insbesondere nach Plattenosteosynthese und

in Abhängigkeit von dem begleitenden Weichteilschaden: 21% nach Plattenosteosynthese ohne Weichteilschaden und 75% nach Plattenosteosynthese mit Weichteilschaden. Auch bei Teeny und Wiss (1993) finden sich Zahlen dazu: bei den Typ I und II Frakturen (nach Rüedi u. Allgöwer, 1978) 30% weitere Eingriffen, bei Typ III Frakturen 60%.

Eine Synostose zwischen der Tibia und der Fibula wird in Publikationen nur selten erwähnt (Vivès et al. 1984, Jahna et al. 1979). Heim (1991) wies darauf hin, dass sie sich funktionell negativ auswirken kann, dies aber nicht immer der Fall sein muss. Sie kann zu einer unphysiologischen Blockierung der Syndesmose führen und dabei vor allem die Dorsalflexion behindern, in deren Endstellung der Außenknöchel normalerweise eine leichte Innenrotation vollzieht. Im eigenen Krankengut war sie häufig mit einer schlechten Beweglichkeit assoziiert und trat ausnahmslos bei Fällen auf, die durch konventionelle Osteosynthese operiert wurden.

Die in der Literatur am häufigsten beschriebene knöcherne Komplikation ist die Ostitis bzw. Osteomyelitis. Dies erklärt sich durch die langwierige Behandlung und die schlechte Prognose dieser Komplikation. In der Literatur ist der Zusammenhang zwischen dem Schweregrad des Bruches und Knocheninfektionen gut belegt (Hendrich u. Sieweke 1993, Müller u. Prescher 1978, Nast-Kolb et al. 1993). Verschiedene Autoren fanden nach Unfallmechanismen mit starker Weichteilschädigung mehr Knocheninfektionen (Hendrich u. Sieweke 93, Müller u. Prescher 1978, Teeny u. Wiss 1993, Welz 1982). Bei einem Vergleich verschiedener Studien werden Unterschiede in den Ostitis-Raten deutlich (siehe Tab. 38, Seite 94). Bei Anwendung von indirekter Reposition resultierten niedrige Ostitis-Raten trotz meist hoher Bruchklassifikation bzw. –schwere, wie folgende Beispiele zeigen:

- Bone et al. 1993, keine Ostitis, fast nur schwerste Trümmerbrüche
- Karas u. Weiner 1994, 4%, 50% Typ III-Frakturen (siehe Abb. 5, S. 12)
- Tornetta et al. 1993, 6%, fast nur Typ III-Frakturen (siehe Abb. 5, S. 12)
- Waddell 1993, keine Ostitis, keine Klassifikation (meist Sturz aus der Höhe)

- Muhr u. Breitfuß 1993, 5% nach indirekter Reposition versus 13% nach konventioneller Technik, keine Klassifikation (erhebliche Gewalteinwirkung)

Die 3 Knocheninfektionen im eigenen Kollektiv traten alle nach konventioneller Osteosynthese auf. Diese Fälle hatten ein schlechtes Gesamtergebnis.

Avaskuläre Nekrosen (Knocheninfarkt) kommen nicht bei konservativer Behandlung geschlossener Frakturen vor (Heim 1991), sondern entstehen iatrogen infolge der Devaskularisierung von Fragmenten bei der Osteosynthese. Über die Häufigkeit avaskulärer Nekrosen nach operativer Versorgung von Pilon-tibial-Frakturen sind in der Literatur nur vereinzelt Angaben zu finden, ihre Bedeutung wurde lange Zeit unterschätzt. Gleichwohl erwähnten verschiedene Autoren das Risiko von Knochennekrosen (Lundeen 1987, Mast et al. 1988, Maurer u. Lechner 1965). Songis-Mortreux (1975) fand eine Nekrose des gelenkbildenden Pilon-daches nach ausgedehnter Periostablösung und umfangreicher Osteosynthese. Ovadia u. Beals (1986) vermuteten Knochennekrosen in 3 Fällen, wo nach anatomisch exakter Rekonstruktion Gelenkspaltverschmälerungen auftraten. Heim (1991) und Beck (1993) erwähnten sie ebenfalls und dokumentierten jeweils einen Fall dazu. Der Anteil avaskulärer Nekrosen im eigenen Kollektiv (insgesamt 26%) basierte auf einer systematischen Erfassung und lässt sich kaum mit diesen zufälligen Befunden vergleichen. Die Nekrosen traten alle nach konventioneller Osteosynthese auf, dieser Unterschied zwischen den Gruppen „biologische“ und konventionelle Osteosynthese war signifikant ($p = 0,041$).

Die Rate der Knochenheilungsstörungen im eigenen Kollektiv (15%) liegt im Rahmen der Literaturangaben (siehe Tab. 38, Seite 94). Ein direkter Vergleich mit den Studien ist jedoch erschwert wegen der in der Regel fehlenden Einteilung der Heilungsstörungen nach zeitlichen Kriterien. Es gab keine Frakturheilungsstörungen nach „biologischer“ Osteosynthese, der Unterschied zu den konventionellen Osteosynthesen war allerdings nicht signifikant ($p = 0,156$).

Die Zahl der Osteosyntheseimplantate (Metallimplantate, Spongiosaplastiken) korrelierte signifikant mit allen knöchernen Komplikationen (s. Tab. 21, Seite 66).

Eine operative Technik mit einer großen Menge an Implantaten (zur möglichst maximalen Stabilisierung und anatomischen Fixierung der Bruchfragmente) erhöhte also die Wahrscheinlichkeit von Knochenkomplikationen. Nach den „biologischen“ Osteosynthesen kam es zu keiner einzigen knöchernen Komplikation. Alle 14 von knöchernen Komplikationen betroffenen Fälle waren durch eine konventionelle Osteosynthese versorgt worden (s. Tab. 27 bis Tab. 29, Seite 68), der Unterschied zu den „biologischen“ Osteosynthesen war signifikant ($p = 0,021$). Auch mit dem Schweregrad der Frakturen stieg die Wahrscheinlichkeit für knöcherne Komplikationen (s. Tab. 19, Seite 65). Der Unterschied zwischen den operativen Techniken hinsichtlich der knöchernen Komplikationen lässt sich jedoch nicht durch die Klassifikationen der Frakturen erklären, vielmehr lagen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,278$ bei den „biologischen“ Osteosynthesen eher noch die höheren Schweregrade vor (s. Tab. 26, Seite 68).

Der Weichteilschaden korrelierte insgesamt nur gering mit den knöchernen Komplikationen (s. Tab. 20, Seite 65).

Auch in der Literatur sind Zusammenhänge zwischen operativer Technik, Weichteilhandhabung und Komplikationen belegt. Ausgedehnte Weichteilfreilegungen bei der Osteosynthese und insbesondere Periostfreilegungen bei Trümmerfrakturen hatten mehr Störungen der Bruchheilung zur Folge (Ruwe et al. 1993, Teeny u. Wiss 1993). Waren die Weichteile mangelhaft durchblutet, resultierten oft Nekrosen und Infektionen (Oestern u. Tscherne 1983, Tscherne 1983, Tscherne u. Rojczyk 1983). Ausgedehnte Operationen bei Weichteilschaden erhöhten das Infektionsrisiko (Welz 1982). Eine iatrogene Störung der Vaskularisation durch ausgeprägte Knochendenudierung erhöhte die Gefahr von Nekrosen und Knocheninfektionen (Hendrich u. Sieweke 1993, Tassler 1981). Breitfuß et al. (1988) beobachteten nach konventioneller Osteosynthese signifikant häufiger Knocheninfektionen als nach Kombination von Minimalosteosynthese und Fixateur externe. Nast-Kolb et al. (1993) fanden nach konventioneller Plattenosteosynthese mehr Komplikationen der Weichteile als nach Minimalosteosynthese. Auch Welz (1982) berichtete über

eine Abnahme der Komplikationen nach modifizierter Operationsmethode, die eine indirekte Reposition und überbrückende Osteosynthese beinhaltete.

Frakturinstabilität nach insuffizienter Osteosynthese begünstigte sowohl Weichteilnekrosen und Wundinfektionen (Muhr 1983, Tscherne u. Rojczyk 1983), als auch Knocheninfektionen (Breitfuß et al. 1988, Dillin u. Slabaugh 1986, Müller u. Prescher 1978, Tassler 1981) und erhöhte die Wahrscheinlichkeit für sekundäre Eingriffe (Teeny u. Wiss 1993). Die knöcherne Heilung setzt eine insgesamt stabile Bruchversorgung voraus (Suren 1983, Tassler 1981, Teeny u. Wiss 1993, Tscherne 1983).

Im eigenen Kollektiv bestanden signifikante Zusammenhänge zwischen der Osteosynthese-Technik und den knöchernen Komplikationen. Dies spricht dafür, dass ein höherer Grad an Stabilität auf Kosten der Knochen- u. Weichteildurchblutung erreicht wurde. Nach biologischer Osteosynthese, wo die Durchblutung der Fragmente nach indirekter Reposition und überbrückender Osteosynthese erhalten blieb, gab es keine knöchernen Komplikationen.

Einige Autoren fanden nach einer Spongiosaplastik seltener Störungen der knöchernen Konsolidierung, große Spongiosadefekte beeinträchtigten die Knochenheilung, vor allem wenn dadurch die Stabilität der gesamten Bruchversorgung gefährdet war (Bone et al. 1993, Jahna et al. 1979, Lechevallier et al. 1988, Ruwe et al. 1993). Dieser Zusammenhang ist bereits seit langem bekannt und veranlasste die Pioniere der konventionellen Osteosynthese, die Auffüllung von Spongiosadefekten zu fordern (Heim 1972, Heim 1991, Rüedi et al. 1968). Im eigenen Kollektiv bestand ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der Zahl der Spongiosaplastiken und den knöchernen Komplikationen (auch der Bruchkonsolidierung). Ursache könnte die damit verbundene Knochenfreilegung sein.

Komplikationen nach operativ behandelten Pilon-tibial-Frakturen

Autoren	WTI	KS	Sud	Ostitis	avN	Arthr
Ayeni 1988			21%			53%
Bonar u. Marsh 1993	0			0		
Bone et al. 1993	0			0		
Breitfuß et al. 1988				10%		50%
Etter u. Ganz 1991			2%	2%		64%
Heim u. Näser 1976	4%			2%		
Helfet et al. 1994				0		
Hendrich u. Sieweke 1993	9%			9%		
Höntzsch et al. 1990				A:33% B:12%		A:28% B:4%
Hourlier 1981	11%			12%		75%
Karas u. Weiner 1994				4%		
Leone et al. 1993	9%					
Macek 1984				17%		73%
Mast et al. 1988				3%		
Mc Ferran et al. 1992				15%		
Mischkowsky u. Dichgans 1980				15%		
Möller u. Krebs 1982				13%		
Muhr u. Breitfuß 1993		A:10% B:11%		A:13% B:5%		
Nast-Kolb et al. 1993	18%			5%		
Ovadia u. Beals 1986	10%			7%	2%	
Rommens et al. 1994	30%			10%		
Rüedi et al. 1968	10%			4%		
Rüedi u. Allgöwer 1978	6%			0		
Songis-Mortreux 1975				12%	1%	
Teeny u. Wiss 1993	27%			18%		
Tornetta et al. 1993				6%		
Vivès et al. (1984)	10%			12%		
Waddell 1993	24%			0		
Welz 1982	7%			9%		
eigene Untersuchungen	A:20% B:8%	A:5% B:0	A:0 B:0	A:9% B:0	A:34% B:0	A:37% B:0

Arthr = Arthrose, WTI = Weichteilinfekt, KS = Kompartmentsyndrom, Sud = Sudeck Dystrophie, avN = avaskuläre Nekrose, A = nach konventioneller Osteosynthese, B = nach indirekter Reposition

Autoren	Repositions -verlust	Re-OP	verzögerte Bruchheilung	Nonunion
Bonar u. Marsh 1993	10% Achse			
Bone et al. 1993	5%		15%	
Bourne et al. 1983	21% Achse		14%	
Etter u. Ganz 1991		7%	15%	
Helfet et al. 1994			6%	
Höntzsch et al. 1990				A:4% B:2%
Hourlier 1981				4%
Karas u. Weiner 1994	4% Achse			
Macek 1984	29%			
Mc Ferran et al. 1992			8%	
Mischkowsky u. Dichgans 1980				0
Möller u. Krebs 1982	26% Achse		17%	
Muhr u. Breitfuß 1993	B:6% Achse			
Ovadia u. Beals 1986			4%	
Rommens et al. 1994	20% Achse		16%	
Rüedi et al. 1968	4% Achse	10%		1%
Rüedi u. Allgöwer 1978				1%
Saleh et al. 1993			8%	
Songis-Mortreux 1975	5% Achse			5%
Teeny u. Wiss 1993	12% Achse		17%	
Waddell 1993			21%	
eigene Untersuchungen	A:15% B:8%	A:23% B:8%	A:11% B:0	A:9% B:0

Tab. 38 Komplikationen nach operativ behandelten Pilon-tibial-Frakturen

Re-OP = Re-Operation, A = nach konventioneller Osteosynthese, B = nach indirekter Reposition

4.2.2 Diskussion der subjektiven, klinischen und radiologischen Ergebnisse

Es gab im eigenen Krankengut zum Teil signifikante Korrelationen zwischen einer hohen Frakturschwere und schlechteren Endergebnissen (siehe Tab. 22, Seite 66). Die Korrelationen zwischen dem Weichteilschaden und schlechten Endergebnissen waren insgesamt geringer (s. Tab. 23, Seite 66). Diese Zusammenhänge sind nicht überraschend und passen zu entsprechenden Literaturangaben, bei denen die Unfallursache bzw. der Weichteilschaden die spätere Arthroserate und Gesamtprognose beeinflusste (Breitfuß et al. 1988, Nast-Kolb et al. 1993, Rommens et al. 1994).

Bei den eigenen Untersuchungen ergab der Vergleich der Endergebnisse nach „biologischer“ und konventioneller Osteosynthese klare Unterschiede zugunsten der „biologischen“ Osteosynthese: hier gab es in allen Teilbereichen der Nachuntersuchung mehrheitlich gute Ergebnisse, die Frakturen ließen sich, abgesehen von einer Präarthrose, alle dem Arthrosegrad 0 zuordnen (s. Tab. 30 bis Tab. 36, Seiten 69 bis 69). Diese Unterschiede waren bei allen Teilen der Nachuntersuchung signifikant und nicht durch die Schweregrade bzw. Klassifikationen der Frakturen zu erklären (s. Kap. 3.7.2). Die Endergebnisse belegen die Überlegenheit der „biologischen“ Osteosynthese gerade bei den hohen Frakturschweregraden.

Die Spongiosaplastiken waren signifikant mit schlechteren Endergebnissen assoziiert (s. Tab. 25, Seite 67). Weniger Implantate (Metallimplantate und Spongiosaplastiken) korrelierten signifikant mit weniger Komplikationen (s. Tab. 21, Seite 66). Alle knöchernen Komplikationen waren signifikant mit schlechteren Endergebnissen assoziiert (s. Tab. 24, Seite 67). Dies spricht dafür, dass die besseren Endergebnisse nach „biologischer“ Osteosynthese auf der Abwesenheit knöcherner Komplikationen beruhen.

In Tab. 39 sind Ergebnisse von Kollektiven operativ behandelter Pilon-tibial-Frakturen zusammengestellt. Die Mehrzahl der Autoren haben ihre Ergebnisse in drei Gruppen (*gut, mäßig, schlecht*) unterteilt. Manche haben noch die *sehr guten*

von den *guten* Ergebnissen unterschieden. Diese beiden Kategorien wurden in der Tabelle zur besseren Vergleichbarkeit zu *gut* zusammengefasst. Die Tabelle ermöglicht den Vergleich der Resultate unter Berücksichtigung der Frakturschweregrade und der operativen Technik.

Die Ergebnisse belegen die Annahme, dass insbesondere bei hohen Frakturschweregraden mit Weichteilschaden die konventionelle Osteosynthese schlechter abschneidet als die „biologische“ Osteosynthese oder Techniken mit indirekter Reposition (siehe die Kollektive mit „biologischen“ Osteosynthesetechniken in der Tabelle, dunkel hinterlegt). Die guten Ergebnisse nach konventioneller AO-Taktik konnten bei Kollektiven mit geringerer Traumatisierung erzielt werden (siehe Ayeni 1988, Comminot 1981, Heim u. Näser 1976, Rüedi et al 1968, Rüedi u. Allgöwer 1978).

Die im Vergleich mit anderen Studien insgesamt überdurchschnittlich guten Endergebnisse im eigenen Kollektiv (Gesamtbewertung 45% gut, 23% mäßig, 32% schlecht bei 72% C-Frakturen und 41% Weichteilschaden) sind zu einem großen Teil den „biologischen“ Ergebnissen zu verdanken. Betrachtet man die biologischen Osteosynthesen für sich, so ergeben sich bei 67% C2/C3-Frakturen 80% gute und 20% befriedigende Gesamtergebnisse. Dies ist, wie aus Tab. 39 ersichtlich ist, ein sehr gutes Ergebnis, das auch in den Literaturangaben bei einem entsprechend schwer traumatisierten Patientenkollektiv nur mit „biologischen“ Techniken erreichbar war.

Ergebnisse nach operativ behandelten Pilon-tibial-Frakturen

Autoren	Frakturschwere	Weichteilschaden
Ayeni 1988	50% Typ II, 25% Typ I u. III (K1)	kaum offene Frakturen
Börner 1982	57% Typ III (K1)	38% offen
Bone et al. 1993	fast nur schwere Trümmerbrüche	50% offen
Bourne et al. 1983	50% Typ III (K1)	22% offen
Breitfuß et al. 1988	40% Typ II, 56% Typ III (K1) (teils Sekundärbehandlung)	keine offen
Comminot 1981	meist Skiunfälle	kaum offene Frakturen
Etter u. Ganz 1991	½ Sportunfälle	12% offen
Heim u. Näser 1976	92% Skiunfälle	<1% offen
Helfet et al. 1994	76% Typ II, 24% Typ III (K1)	53% offen
Hendrich u. Sieweke 1993	18% B, 77% C (K2)	alle offen
Höntzsch et al. 1990	B2/3 und C2/3 Frakturen (K2)	30% offen
Hourlier 1981	75% Trümmerbrüche	35% offen
Karas u. Weiner 1994	50% Typ III (K1)	keine Angabe
Kellam u. Waddell 1979	73% Trümmerbrüche	12% offen
Lechevallier et al. 1988	50% Stauchungsbrüche	43% offen
Macek 1984	70% Typ III (K1)	32% offen
Mast et al. 1988	68% Typ III (K1)	Keine Angabe
Mischkowsky u. Dichgans 1980	52% Trümmerbrüche	24% offen
Möller u. Krebs 1982	67% Trümmerbrüche	33% offen
Muhr u. Breitfuß 1993	erhebliche Gewalteinwirkung	A: 28% offen B: 17% offen
Nast-Kolb et al. 1993	84% C2 u. C3 (K2)	17% offen 23% geschlossener WTS
Ovadia u. Beals 1986	32% Typ II, 43% Typ III (K1)	20% offen
Pierce u. Heinrich 1979	71% Trümmerbrüche	33% offen
Resch et al. 1986b	30% Typ II, 47% Typ III (K1)	12% offen
Rommens et al. 1994	67% Typ C (K2)	23% offen 45% schwerer WTS
Rüedi et al. 1968	meist Skiunfälle	6% offen
Rüedi u. Allgöwer 1978	47% Typ III (K1), 47% Sport	4% offen
Saleh et al. 1993	60% Typ III (K1)	42% offen
Songis-Mortreux 1975	½ hohe Gewalteinwirkung	27% offen
Teeny u. Wiss 1993	45% Typ II, 50% Typ III (K1)	20% offen
Tornetta et al. 1993	76% Typ III (K1)	69% schwerer WTS (offen oder geschlossen)
Waddell 1993	Meist Sturz aus der Höhe	18% offen
Welz 1982	45% Trümmerbrüche mit Gelenkflächenimpression	33% schwerer WTS (offen oder geschlossen)

K = Klassifikation (**K1** siehe Abb. 5 Seite 12, **K2** siehe Seite 11 bei Müller et al. 1987)

WTS = Weichteilschaden

Autoren	Therapie	Ergebnis
Ayeni 1988	konvOS	70% gut
Bone et al. 1993	FE + Min-OS, indRep	30% gut, 45% mäßig, 25% schlecht
Börner 1982	konvOS, Min-OS	18% gut, 38% mäßig, 44% schlecht
Bourne et al. 1983	konvOS	80% der leichten und 44% der schweren Brüche befriedigend bis gut
Breitfuß et al. 1988	KonvOS FE + Min-OS	50% schlecht und Arthrose 24 Arthrodesen
Comminot 1981	konvOS	85% gut
Etter u. Ganz 1991	konvOS, Min-OS	66% objektiv und 76% subjektiv gut
Heim u. Näser 1976	konvOS	94% subjektiv zufrieden, 73% Beweglichkeit seitengleich
Helfet et al. 1994	konvOS	60% gut, 10% mäßig, 30% schlecht
Hendrich u. Sieweke 1993	Min-OS, FE	50% gut (64% subjektiv gut) 50% Arthrose
Höntzsch et al. 1990	A: konvOS B: „bio“OS + FE	insgesamt $\frac{1}{3}$ schlecht (B weniger Komplikationen)
Hourlier 1981	konvOS FE, Min-OS	53% gut, 18% mäßig, 29% schlecht
Karas u. Weiner 1994	„bio“OS + FE	71% gut
Kellam u. Waddell 1979	konvOS, Min-OS, indRep	68% befriedigend
Lechevallier et al. 1988	FE	$\frac{2}{3}$ nicht/leicht reduzierte Beweglichkeit, 60% wenig/keine Schmerzen
Macek 1984	konvOS, Ext	73% Arthrose
Mast et al. 1988	„bio“OS	78% gut
Mischkowsky u. Dichgans 1980	konvOS, Ext	61% Arthrosen 39% gut, 33% mäßig, 28% schlecht
Möller u. Krebs 1982	konvOS	54% akzeptabel
Muhr u. Breitfuß 1993	A: konvOS B: „bio“OS + FE	Beweglichkeit gleich in A / B B weniger Ostitis
Nast-Kolb et al. 1993	Min-OS	72% gut, 2/3 keine oder leichte Arthrose
Ovadia u. Beals 1986	konvOS	niedrige Schweregrade alle gut hohe Schweregrade 22% gut
Pierce u. Heinrich 1979	Min-OS, konvOS	29% mäßig, 71% schlecht (Min-OS besser)
Resch et al. 1986b	A: Ext B: AO-OS	A: 50% / B: 33% schwere Arthrose (Vergleich der schweren Brüche)
Rommens et al. 1994	KonvOS Min-OS, FE	ohne WTS: 86% gut mit WTS: 56% gut
Rüedi et al. 1968	konvOS	74% gut
Rüedi u. Allgöwer 1978	konvOS	69% gut
Saleh et al. 1993	„bio“OS	40% gut, 50% mäßig
Songis-Mortreux 1975	konvOS, Ext, FE	50% gut, 50% mäßig / schlecht
Teeny u. Wiss 1993	konvOS	25% gut, 25% mäßig, 50% schlecht
Tornetta et al. 1993	„bio“OS	70% gut
Waddell 1993	Platten-OS indRep	74% gute Beweglichkeit 68% keine / wenig Schmerzen
Welz 1982	Min-OS, konvOS	79% gut

Tab. 39 Ergebnisse nach operativ behandelten Pilon-tibial-Frakturen

konvOS = konventionelle Osteosynthese, **Ext** = Extension, **FE** = Fixateur externe, **indRep** = indirekte Reposition, **Min-OS** = Minimalosteosynthese, **„bio“OS** = „biologische“ Osteosynthese

4.3 Diskussion des Vergleichs von konventioneller mit „biologischer“ Osteosynthese

Es ist seit langem bekannt, dass die anatomische Rekonstruktion der Gelenkfläche für die Vermeidung einer posttraumatischen Arthrose obligat ist, ebenso wie die Frakturheilung und die Frühmobilisation des Gelenkes eine ausreichende Gesamtstabilität des Bruches voraussetzen (Rüedi 1973). Mangelhafter Gabelschluß, Stufen der Gelenkfläche ≥ 2 mm (vor allem ventral) und deutliche Achsenfehlstellungen verschlechtern die Prognose (Resch et al. 1986a, Waddell 1993). Mit dem Wandel der Unfallursachen von der ehemals klassischen Skifahrerverletzung zu einer Vielzahl an traumatisierenden Mechanismen, die auch erhebliche Weichteilschäden hervorrufen, gab es jedoch schwere Arthrosen auch bei Befolgung der AO-Leitlinien und trotz anatomischer Wiederherstellung der Gelenkfläche (Breitfuß et al 1988, Etter u. Ganz 1991, Möller u. Krebs 1982, Nast-Kolb et al. 1993, Pierce u. Heinrich 1979, Teeny u. Wiss 1993). Dabei führten avaskuläre Knochennekrosen, insbesondere subchondrale Nekrosen zu Arthrosen (Helfet et al. 1994, Kellam u. Waddell 1979). Auch im eigenen Kollektiv war dies der Fall, wenn eine direkte Reposition von Bruchfragmenten eine anatomische Rekonstruktion ermöglicht hatte.

In den letzten Jahren wurde daher die Indikation der konventionellen Osteosynthese wieder verstärkt diskutiert und in Frage gestellt. Manche Autoren empfahlen weiterhin die Anwendung der Osteosynthese nach den Richtlinien der AO (Ayeni 1988, Kellam u. Waddell 1979, Mainwaring et al. 1988, Mast et al. 1988), andere bevorzugten modifizierte Techniken wie Extensionsverfahren, Minimalosteosynthese, Fixateur externe oder Kombinationen dieser Verfahren (Jahna et al. 1979, Nast-Kolb et al. 1993, Pierce u. Heinrich 1979, Schweiberer et al. 1987). Die einen orientierten sich bei der Entscheidung an den Weichteilverhältnissen (Bone et al. 1993, Etter u. Ganz 1991, Hourlier 1981, Leone et al. 1993, Müller u. Prescher 1978, Murphy et al. 1991, Ovadia u. Beals 1986, Rogge 1983, Songis-Mortreux 1975, Welz 1982), die anderen vor allem am Schweregrad der Fraktur (Bertrand et al. 1983, Bone 1987, Karas u. Weiner 1994, Macek 1984, Resch et al. 1986b, Ruwe et al. 1993, Tassler 1981, Teeny u. Wiss 1993). Die Versorgungsmöglichkeiten spielen ebenso eine Rolle wie die

Gesamtsituation (Alter, Allgemeinzustand, Polytrauma, sonstige Begleitverletzungen). Ein zweizeitiges Verfahren kann bei Weichteilschaden helfen, um später unter besseren Voraussetzungen für die Wundheilung operieren zu können (Börner 1982, Breitfuß et al. 1988, Brennan 1990, Helfet et al. 1994, Höntzsch et al. 1990, Mast 1993, Osterwalder et al. 1984, Rommens et al. 1994, Rüter 1978, Suren 1983, Tornetta et al. 1993, Trentz u. Friedl 1993).

Mittlerweile schränkten auch AO-Mitglieder die Indikation der konventionellen Osteosynthese bei schwerem Weichteilschaden ein (Heim u. Pfeiffer 1988, Rüedi 1983, Rüedi 1993). Die "biologische" Osteosynthese der Pilon-tibial-Fraktur gemäß der AO-Technik beinhaltet je nach Weichteilverhältnissen ein zweizeitiges Vorgehen mit zunächst vorübergehender Frakturreduktion durch Kalkaneusextension, Fixateur externe (ggf. mit Fibula-Osteosynthese und transkutaner Anpassung von Gelenkfragmenten durch Kirschner-Drähte oder Schrauben). Bei der endgültigen Reposition kommen die bereits beschriebenen indirekten Techniken zu Einsatz (siehe Kap. 1.11, Seite 28). Eine Spongiosaplastik erfolgt bei großen Defekten der Knochensubstanz nur dann, wenn sie durch die Frakturzone eingebracht werden kann, ohne dass Weichteile abpräpariert werden müssen. Die Implantate (Kleeplatte, LC-DCP, 3.5/4.0 mm Schrauben) sind so klein zu wählen, dass sie bei einer die Frakturzone überbrückenden Osteosynthese noch eine ausreichende Gesamtstabilität garantieren. Ansonsten kann ein Fixateur externe zwischen Talus und Tibia die Platte ersetzen. Lediglich die gelenkbildenden Fragmente werden mit minimalinvasiven Techniken reponiert und durch vorgeplante Schrauben erfasst, die atraumatisch und möglichst durch die Platte gesetzt werden. Die Prinzipien der interfragmentären Kompression werden nur dann angewandt, wenn sie blind einsetzbar sind. Die gesamte Osteosynthese muss eine ausreichende Stabilität für die Frühmobilisierung des Gelenkes ergeben.

Durch die teilweise auch schlechten Resultate nach konventioneller Osteosynthese wurde die Bedeutung der Komplikationen für das spätere Behandlungsergebnis erkannt (Lamprecht u. Ochsner 1984, Leone et al. 1993, McFerran et al. 1992, Müller u. Prescher 1978). Dadurch hat ein Wandel stattgefunden von einem eher mechanisch geprägten Verständnis zu einem biologisch orientierten Vorgehen,

die "biologische" Osteosynthese ist die Antwort auf zu hohe Komplikationsraten. Knocheninfektionen entstehen sekundär protrahiert durch Hypoxie und Nekrose (Tassler, 1981, Tscherne 1983). Eine ausgedehnte Freilegung des Knochens, wie sie für eine exakte Fragmentreposition oft notwendig ist, erhöht das Risiko von Knochennekrosen. Die ausreichende Versorgung mit Blut für die sekundäre Knochenheilung über das Gefäßnetz der periostalen Korticalis hängt vom vaskularisierten Weichteilmantel ab (Claudi u. Oedekoven 1991). Allerdings setzt die intramedulläre Versorgung mit Blut eine weitgehende Frakturstabilität voraus. Die Überlegenheit der "biologischen" Osteosynthese gegenüber konventionellen Verfahren hinsichtlich der Knochenheilung wurde von Baumgärtel et al. (1994) im Tierexperiment untersucht und belegt. In einer anderen prospektiven klinischen Studie zur "biologischen" Osteosynthese (Baumgärtel u. Gotzen 1994) überzeugt die niedrige Komplikationsrate bei fast immer regelrechter knöcherner Heilung.

Bei den eigenen Untersuchungen korrelierten knöcherne Komplikationen statistisch signifikant mit schlechteren Endergebnissen. Nach konventioneller Osteosynthese gab es in 40% der Fälle meist mehrere knöcherne Komplikationen, nach „biologischer“ Osteosynthese hingegen keine einzige. Die Folge waren 35% gute, 24% befriedigende und 41% schlechte Gesamtergebnisse nach konventioneller Osteosynthese im Gegensatz zu 80% guten und 20% befriedigenden Gesamtergebnissen nach „biologischer“ Osteosynthese. Die Unterschiede zwischen den operativen Techniken hinsichtlich der knöchernen Komplikationen und Endergebnisse waren signifikant (mit Ausnahme der Frakturheilung). Die besseren Ergebnisse nach „biologischer“ Osteosynthese lassen sich durch den komplikationslosen Heilungsverlauf aller dieser Fälle erklären. Auch im eigenen Kollektiv hatten die Komplikationen also den entscheidenden negativen Einfluss auf das Endergebnis und ließen sich durch die Wahl einer schonenderen operativen Technik vor allem mit indirekten Repositionstechniken vermeiden.

5 Zusammenfassung

Behandelt wird die Frage, welchen Stellenwert die „biologische“ Osteosynthese bei der Behandlung von Pilon-tibial-Frakturen angesichts der allgemein ungünstigen Prognose hat. Können bestimmte intraoperative Methoden als technische Hilfe das Ergebnis verbessern, und welche Bedeutung hat dabei die indirekte Reposition im Vergleich zur direkten Reposition?

Es wurden retrospektiv 54 Pilon-tibial-Frakturen ermittelt, die im Zeitraum von 1985 – 1991 in die Universitätsklinik Marburg zur Erstbehandlung kamen. Davon waren 40 Frakturen durch „konventionelle“ Osteosynthese (Operationstechnik der AO), 12 durch eine „biologische“ Osteosynthese versorgt worden. Der Anteil der Frakturen mit offenem oder geschlossenem Weichteilschaden war insgesamt hoch (41%). Die Frakturen wurden klassifiziert nach dem ABC-Prinzip der AO in der 1991 von Heim überarbeiteten Fassung. In einem zeitlichen Abstand von 12 bis 86 Monaten (durchschnittlich 47,5 Monate) konnten 47 Frakturen nachuntersucht werden.

Es wurden durch die Berechnung der Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman Zusammenhänge zwischen der Menge an Implantaten (Metallimplantate und Spongiosaplastiken), den knöchernen Komplikationen und den Endergebnissen untersucht. Mit Hilfe des Wilcoxon-Rang-Summen-Tests wurden die Ergebnisse der „biologischen“ Osteosynthesen mit indirekter Reposition und überbrückender Stabilisierung den Ergebnissen der konventionellen Osteosynthese gegenübergestellt.

Die Metallimplantate an der Tibia bestanden bei allen 12 „biologischen“ Osteosynthesen aus jeweils einer Platte, bei den 40 konventionellen Osteosynthesen 7mal nur aus Schrauben, 26mal aus einer Platte, 4mal aus 2 Platten und 3mal aus 3 Platten. Bei „biologischer“ Technik gab es in 17% der Fälle eine Spongiosaplastik, bei konventioneller Technik in 53%.

Mit steigender Zahl der Metallimplantate wurden knöcherne Komplikationen wahrscheinlicher (avaskuläre Nekrosen $p = 0,001$, Heilungsstörungen $p = 0,011$, Gesamtzahl knöcherner Komplikationen $p = 0,001$). Der Zusammenhang zwischen Spongiosaplastiken und knöchernen Komplikationen war ebenfalls signifikant. Nach den „biologischen“ Osteosynthesen kam es in keinem der Fälle zu einer knöchernen Komplikation, hingegen nach den konventionellen Osteosynthesen in

40% der Fälle. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren signifikant bei den avaskulären Nekrosen ($p = 0,041$) und der Gesamtzahl knöcherner Komplikationen ($p = 0,021$). Viele Metallimplantate und Spongiosaplastiken waren mit schlechteren Endergebnissen assoziiert. Der Vergleich beider Gruppen ergab in allen Teilbereichen bessere Ergebnisse nach „biologischer“ Osteosynthese, die Unterschiede waren überall signifikant (Gesamtergebnis $p = 0,006$). Beim Vergleich der Frakturschweregrade unterschieden sich die „biologischen“ Osteosynthesen hingegen nicht signifikant von den konventionellen Osteosynthesen.

Die Bedeutung der Komplikationen für das Behandlungsergebnis wurde deutlich. Alle knöchernen Komplikationen korrelierten signifikant mit schlechteren Endergebnissen. Die besseren Ergebnisse nach „biologischer“ Osteosynthese ließen sich durch den komplikationslosen Heilungsverlauf dieser Fälle erklären.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeit können die eingangs gestellten Fragen beantwortet werden:

1. Gibt es intraoperative Methoden, die als technische Hilfe das Ergebnis verbessern könnten?

Die biologische Osteosynthese mit indirekter Reposition zeigt signifikant bessere Ergebnisse als die konventionelle Osteosynthese.

2. Welchen Stellenwert hat die indirekte Reposition im Vergleich zur direkten Reposition?

Die indirekte Reposition ermöglicht eine schonendere Weichteilbehandlung, da sie die technischen Schwierigkeiten einer intraoperativen Reposition relativiert. Die Ergebnisse belegen dies.

3. Bietet die „biologische“ Osteosynthese als alternative Methode zur konventionellen Osteosynthese Vorteile?

Die günstigen Ergebnisse nach „biologischer“ Osteosynthese zeigen im Vergleich zweier Kollektive von Frakturen gleichen Schweregrades, dass die der „biologischen“ Osteosynthese zugrundeliegenden Techniken darstellbar und

erlernbar sind. Werden die für die „biologische“ Plattenosteosynthese notwendigen Regeln eingehalten, so können gute Ergebnisse regelhaft erwartet werden.

6 Zukunft in der Behandlung der Pilon-tibial-Fraktur

Wenn auch gegenwärtig noch die Standard-AO-Implantate bei der Osteosynthese der Pilon-tibial-Fraktur eingesetzt werden, so gehört die Zukunft einer neuen Generation von Implantaten, die sich auch in der Behandlung von Extremitätenverletzungen zunehmend etablieren. Erwähnenswert sind hier die winkelstabilen Osteosynthesysteme wie LISS („less invasive stabilization system“, Hahn et al. 2002, Hansen et al. 2002, Schandelmaier et al. 2000) oder andere winkelstabile Plattenosteosynthesen, die für spezielle Lokalisationen entwickelt wurden, wie z. B. ESIN („elastic-stable intramedullary nailing“, Schmittbecher et al. 2004) oder LPHP („Locking-Proximal-Humerus-Plate“, Lill et al. 2003, Lill et al. 2004). Bei LISS handelt es sich um ein transkutanes Plattensystem mit monokortikalen selbstbohrenden und -schneidenden Schrauben. Die Schrauben werden mit einer Ziel-Hilfe eingebracht und bilden einen stabilen Winkel mit der Platte. Gegenüber der konventionellen Plattenosteosynthese scheinen diese Techniken biomechanische und biologische Vorteile zu bieten, die das Anliegen der „biologischen Plattenosteosynthese“ mit ihrem minimalinvasiven Vorgehen fortführen.

Für die Pilon-tibial-Fraktur ist dies ein Ausblick in die Zukunft und wird Gegenstand anderer Kollektive sein. Thema der eigenen Untersuchung war die Gegenüberstellung von zwei unterschiedlichen operativen Verfahren bei gleichem Osteosynthesematerial.

7 Literaturverzeichnis

1. Aktuglu K, Ozsoy MH, Yensel U (1998) Treatment of displaced pylon fractures with circular external fixators of Ilizarov. Foot Ankle Int 19: 208 - 216
2. Ayeni JP (1988) Pilon fractures of the tibia: a study based on 19 cases. Injury 19: 109 – 114
3. Baird RA, Jackson ST (1987) Fractures of the distal part of the fibula with associated disruption of the deltoid ligament. J Bone Joint Surg Am 69: 1346 - 1352
4. Bandi W (1970) Zur Mechanik der supramalleolären intraartikulären Schienbeinbrüche des Skifahrers. Kongressbericht 9. Int. Kongress für Skitraumatologie. Nebel Verlag, Garmisch-Partenkirchen
5. Bargon G (1978) Röntgenmorphologische Gradeinteilung der posttraumatischen Arthrose im oberen Sprunggelenk. Hefte Unfallheilkd 133: 287 - 258
6. Bastian L, Blauth M, Thermann H, Tschern H (1995) Verschiedene Therapiekonzepte bei schweren Frakturen des Pilon Tibiale (Typ-C-Verletzungen). Eine Vergleichsstudie. Unfallchirurg 98: 551 - 558
7. Baumgärtel F, Perren S-M, Rahn B (1994) Tierexperimentelle Untersuchungen zur „biologischen“ Plattenosteosynthese von Mehrfragmentfrakturen des Femurs. Unfallchirurg 97: 19 - 27
8. Baumgärtel F, Gotzen L (1994) Die „biologische“ Plattenosteosynthese bei Mehrfragmentfrakturen des gelenknahen Femurs. Eine prospektive Studie. Unfallchirurg 97: 78 - 84
9. Beck E (1993) Results of operative treatment of pilon fractures. In: Tschern H, Schatzker J (Hrsg) Major fractures of the pilon, the talus, and the calcaneus. Current concepts of treatment. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, S 49 - 51
10. Bertrand P, Maetens M, Putz P (1983) Les fractures du pilon tibial, analyse et discussion de 41 cas. Rev Méd Brux 4: 151 - 158
11. Böhler L (1951) Die Technik der Knochenbruchbehandlung. 12.-13. Aufl. Maudrich, Wien, S 1910 - 1934 (Nachdruck 1977)
12. Börner M (1982) Einteilung, Behandlung und Ergebnisse der Frakturen des Pilon tibial. Unfallchirurgie 8: 230 - 235

13. Bonar SK, Marsh JL (1993) Unilateral external fixation for severe pilon fractures. *Foot Ankle* 14: 57 - 64
14. Bone LB (1987) Fractures of the tibial plafond. *Orthop Clin North Am* 18: 95 - 104
15. Bone LB, Stegemann P, McNamara K, Seibel R (1993) External fixation of severely comminuted and open pilon fractures. In: Tscherne H, Schatzker J (Hrsg) Major fractures of the pilon, the talus, and the calcaneus. Current concepts of treatment. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, S 53 - 58
16. Bonnin JG (1950) Injuries to the ankle. Heinemann, London, S 248 - 260
17. Bourne RB (1989) Pylon fractures of the distal tibia. *Clin Orthop* 240: 42 - 46
18. Bourne RB, Rorabeck CH, Macnab J (1983) Intra-articular fractures of the distal tibia: the pilon fracture. *J Trauma* 23: 591 - 596
19. Breitfuß H, Muhr G, Neumann K, Korthaus C (1988) Prognose und Therapie geschlossener, distaler, intraartikulärer Unterschenkelbrüche. *Unfallchirurg* 91: 557 - 564
20. Brennan MJ (1990) Tibial pilon fractures. *Instr Course Lect* 39: 167 - 170
21. Brumback RJ, McGarvey WC (1995) Fractures of the tibial plafond. *Orthop Clin North Am* 26: 273 - 285
22. Claudi BF, Oedekoven G (1991) "Biologische" Osteosynthesen. *Chirurg* 62: 367 - 377
23. Comminot C (1981) Die Pilon tibial-Fraktur. Nachkontrolle einer Serie von 136 Patienten des Kreuzspitals Chur. Med. Diss., Basel
24. Couvelaire R, Rodier P (1937) Sur une variété de fracture par éclatement du pilon tibial. *Rev Orthop* 24: 329 - 346
25. Decoulx P, Decoulx J (1965) Enclouage transplantaire dans les fractures du pilon tibial. *Rev Chir Orthop* 51: 91 - 93
26. Decoulx P, Razemon J-P, Rousselle Y (1961) Fractures du pilon tibial. *Rev Chir Orthop* 47: 563 - 577
27. Destot EAJ (1911) Traumatismes du pied et rayons x: malléoles, astragale, calcaneum, avant-pied. Masson, Paris, S 1 - 10
28. Dillin L, Slabaugh P (1986) Delayed wound healing, infection, and nonunion following open reduction and internal fixation of tibial plafond fractures. *J Trauma* 26: 1116 - 1119

29. Dürig M, Zeugin M, Rüedi T (1978) Vergleichende Ergebnisse nach operativer Versorgung von Pilon tibial-Frakturen an zwei verschiedenen Kliniken. Hefte Unfallheilkd 131: 158 - 162
30. Etter C, Ganz R (1991) Long-term results of tibial plafond fractures treated with open reduction and internal fixation. Arch Orthop Trauma Surg 110: 277 - 283
31. Fitzpatrick DC, Marsh JL, Brown TD (1995) Articulated external fixation of pilon fractures: the effect on ankle joint kinematics. J Orthop Trauma 9: 76 - 82
32. Folwaczny EK, Sturmer KM (1999) Verletzung des oberen Sprunggelenks bei Unterschenkelfraktur. Unfallchirurg 102: 611 - 618
33. French B, Tornetta P (2000) Hybrid external fixation of tibial pilon fractures. Foot Ankle Clin 5: 853 - 871
34. Gay R, Évrard J (1963) Les fractures récentes du pilon tibial chez l'adulte. Rev Chir Orthop 49: 397 - 512
35. Hahn MP, Thies JW (2004) Pilon-tibiale-Frakturen. Chirurg 75: 211 - 230
36. Hahn U, Prokop A, Jubel A, Isenberg J, Rehm KE (2002) LISS versus Kondylenplatte. Kongressbd Dtsch Ges Chir Kongr 119: 498 - 504
37. Hansen M, Mehler D, Voltmer W, , Rommens P-M (2002) Die proximale extraartikuläre Tibiafraktur. Unfallchirurg 105: 858 - 872
38. Heim U (1972) Le traitement chirurgical des fractures du pilon tibial. J Chir 104: 307 - 322
39. Heim U (1975) Erfahrungen mit der Spaltung der lateralen Fascia cruris bei Tibia-Osteosynthesen. Helv Chir Acta 42: 451 - 454
40. Heim U (1991) Die Pilon-tibial-Fraktur. Springer, Berlin-Heidelberg-New York
41. Heim U (1993) Morphological features for evaluation and classification of pilon tibial fractures. In: Tscherne H, Schatzker J (Hrsg) Major fractures of the pilon, the talus, and the calcaneus. Current concepts of treatment. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, S 29 - 41
42. Heim U, Grete W (1972) Das Tibialis-anterior-Syndrom nach Osteosynthese am Unterschenkel. Helv Chir Acta 39: 667 - 677
43. Heim U, Näser M (1976) Die operative Behandlung der Pilon tibial-Fraktur. Technik der Osteosynthese und Resultate bei 128 Patienten. Arch Orthop Unfall-Chir 86: 341 - 356

44. Heim U, Näser M (1977) Fractures du pilon tibial. Résultats de 128 ostéosynthèses. Rev Chir Orthop 63: 5 - 12
45. Heim U, Pfeiffer KM (1988) Periphere Osteosynthesen. 3. Aufl. Springer, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo, S 267 - 291
46. Helfet DL, Koval K, Pappas J, Sanders RW, DiPasquale T (1994) Intraarticular "pilon" fracture of the tibia. Clin Orthop 298: 221 - 228
47. Hendrich V, Sieweke W (1993) Offene Gelenkfrakturen am distalen Unterschenkel. Unfallchirurg 96: 253 - 258
48. Höntzsch D, Karnatz N, Jansen T (1990) Ein- oder zweizeitige (mit Fixateur externe) Versorgung der schweren Pilon-Tibial-Fraktur. Akt Traumatol 20: 199 - 204
49. Hourlier H (1981) Fractures récentes du pilon tibial. Med. Diss., Amiens
50. Jahna H, Wittich H, Hartenstein H (1979) Der distale Stauchungsbruch der Tibia: Ergebnisse von 583 frischen Fällen. Hefte Unfallheilkd 137
51. Jergesen F (1959) Open reduction of fractures and dislocations of the ankle. Am J Surg 98: 136 - 151
52. Judet J, Judet R, Letournel E (1967) Un procédé d'ostéosynthèse pour fracture multifragmentaire du pilon tibial. Mém Acad Chir 17 - 18: 547 - 549
53. Jurgens C, Schmidt HG, Schumann U, Fink B (1992) Der Ilisarow-Ringfixateur und seine technische Anwendung. Unfallchirurg 95: 529 - 533
54. Karas EH, Weiner, LS (1994) Displaced pilon fractures. Orthop Clin North Am 25: 651 - 663
55. Kellam JF, Waddell JP (1979) Fractures of the distal tibial metaphysis with intra-articular extension - the distal tibial explosion fracture. J Trauma 19: 593 - 601
56. Lamprecht E, Ochsner PE (1984) Spätprobleme nach konservativ und operativ behandelten "Pilon tibial"-Frakturen. Helv Chir Acta 51: 629-631
57. Lauge-Hansen N (1948) Fractures of the ankle: analytic historical survey as the basis of new experimental roentgenologic and clinical investigations. Arch Surg 56: 259 - 276
58. Lauge-Hansen N (1953) Fractures of the ankle V. Pronation-dorsiflexion fracture. Arch Surg 67: 813 - 820

59. Lauge-Hansen N (1963) Knöchelbrüche und Bandverletzungen des Fußgelenkes und des Fußes. Zentralbl Chir 87: 545 - 561
60. Lechevallier J, Thomine JM, Biga N (1988) Le fixateur externe tibio-calcaneéen dans le traitement des fractures du pilon tibial. Rev Chir Orthop 74: 52 - 60
61. Leone VJ, Ruland RT, Meinhard BP (1993) The management of the soft tissues in pilon fractures. Clin Orthop 292: 315 - 320
62. Lill H, Hepp P, Korner J, Kassi JP, Verheyden AP, Josten C, Duda GN (2003) Proximal humerus fractures: how stiff should an implant be? A comparative mechanical study with new implants in human specimens. Arch Orthop Trauma Surg 123: 74 - 81
63. Lill H, Hepp P, Rose T, König K, Josten C (2004) Die winkelstabile Plattenosteosynthese (LPHP) proximaler Humerusfrakturen über den kleinen anterolateralen Delta-Splitting-Zugang - Technik und erste Ergebnisse. Zentralbl Chir 129: 43 - 48
64. Lundeen RO (1987) Medial impingement lesions of the tibial plafond. J Foot Surg 26: 37 - 40
65. Maale G, Seligson D (1980) Fractures through the distal weight-bearing surface of the tibia. Orthopedics 3: 517 - 521
66. Macek LJ (1984) Behandlung und Ergebnisse bei Frakturen des Pilon Tibiale 1965 - 1977. Med. Diss., Mainz
67. Mainwaring BL, Daffner RH, Riemer BL (1988) Pylon fractures of the ankle: a distinct clinical and radiologic entity. Radiology 168: 215 - 218
68. Mast JW (1993) Pilon fractures of the distal tibia: a test of surgical judgement. In: Tscherne H, Schatzker J (Hrsg) Major fractures of the pilon, the talus, and the calcaneus. Current concepts of treatment. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, S 7 - 27
69. Mast JW, Spiegel PG, Pappas JN (1988) Fractures of the tibial pilon. Clin Orthop 230: 68 - 82
70. Maurer G, Lechner F (1965) Konservative und operative Behandlungsmöglichkeiten bei Stauchungsbrüchen des distalen Unterschenkels. Unfallheilkunde 68: 207 - 213
71. Mazur JM, Schwartz E, Simon SR (1979) Ankle arthrodesis. Long-term follow-up with gait analysis. J Bone Joint Surg Am 61: 964 - 975

72. McFerran MA, Smith SW, Jay Boulas H, Schwartz HS (1992) Complications encountered in the treatment of pilon fractures. J Orthop Trauma 6: 195 - 200
73. Mischkowsky T, Dichgans M (1980) Behandlung und Spätergebnisse von 33 Frakturen des Pilon tibial. Unfallchirurgie 6: 253 - 255
74. Möller BN, Krebs B (1982) Intra-articular fractures of the distal tibia. Acta Orthop Scand 53: 991 - 996
75. Müller K-H, Prescher W (1978) Posttraumatische Osteomyelitis nach distalen intraartikulären Unterschenkelfrakturen (Frakturen des Pilon tibial). Hefte Unfallheilkd 131: 163 - 183
76. Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H (1977) Manual der Osteosynthese. Springer, Berlin-Heidelberg-New York
77. Müller ME, Allgöwer M, Willenegger H (1963) Technik der operativen Frakturenbehandlung. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg
78. Müller ME, Nazarian S, Koch P (1987) Classification AO des fractures. Springer, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo
79. Muhr G (1983) Frühkomplikationen nach Frakturen mit Weichteilschaden. Hefte Unfallheilkd 162: 125 - 132
80. Muhr G, Breitfuß H (1993) Complications after pilon fractures. In: Tscherne H, Schatzker J (Hrsg) Major fractures of the pilon, the talus, and the calcaneus. Current concepts of treatment. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, S 65 - 67
81. Muhr G, Ostermann P (1997) Die Behandlung offener Frakturen am Beispiel des Unterschenkelschaftbruchs. Z ärztl Fortbild Qualitätssich 91: 415 - 419
82. Murphy CP, D'Ambrosia R, Dabezies EJ (1991) The small pin circular fixator for distal tibial pilon fractures with soft tissue compromise. Orthopedics 14: 283 - 290
83. Näser M (1977) Die Pilon tibial-Fraktur im Krankengut des Kreuzspitals in Chur 1962 – 1973. Med. Diss., Zürich
84. Nast-Kolb D, Betz A, Rödel C, Schweiberer L (1993) Die Minimalosteosynthese der Pilon-tibial-Fraktur. Unfallchirurg 96: 517 - 523
85. Oestern H-J, Tscherne H (1983) Pathophysiologie und Klassifikation des Weichteilschadens. Hefte Unfallheilkd 162: 1-9

86. Olerud C, Molander H (1986) Bi- and trimalleolar ankle fractures operated with nonrigid internal fixation. Clin Orthop 206: 253 - 260
87. Osterwalder A, Ganz M, Harder F (1984) Zur Problematik der Pilon Tibial-Trümmerfraktur mit großem Defekt. Z Unfallchir Versicherungsmed Berufskr 77: 227 - 231
88. Ovadia DN, Beals RK (1986) Fractures of the tibial plafond. J Bone Joint Surg [Am] 68A: 543 - 551
89. Pavolini B, Maritato M, Turelli L, D'Arienzo M (2000) The Ilizarov fixator in trauma: a 10-year experience. J Orthop Sci 5: 108 - 113
90. Pierce RO, Heinrich JH (1979) Comminuted intra-articular fractures of the distal tibia. J Trauma 19: 828 - 832
91. Pollak AN, McCarthy ML, Bess RS, Agel J, Swiontkowski MF (2003) Outcomes after treatment of high-energy tibial plafond fractures. J Bone Joint Surg [Am] 85A: 1893 - 1900
92. Reimers C (1953) Die Brüche des fußnahen Unterschenkelabschnittes. Langenbecks Arch Chir 276: 260 - 277
93. Resch H, Benedetto KP, Pechlaner S (1986a) Die Entwicklung der posttraumatischen Arthrose nach Pilon-Tibialfrakturen. Unfallchirurg 89: 8 - 15
94. Resch H, Pechlaner S, Benedetto KP (1986b) Spätergebnisse nach konservativer und operativer Behandlung von Pilon Tibial-Frakturen. Akt Traumatol 16: 117 - 123
95. Rieunau G, Gay R (1956) Enclouage du péroné dans les fractures supra-malléolaires. Lyon Chir 51: 594 - 600
96. Rogge D (1983) Gelenktransfixation bei Gelenkverletzungen mit schwerem Weichteilschaden. Hefte Unfallheilkd 162: 97 - 110
97. Rommens PM, Claes P, De Boodt P, Stappaerts KH, Broos PL (1994) Therapeutisches Vorgehen und Langzeitergebnisse bei der Pilonfraktur in Abhängigkeit vom primären Weichteilschaden. Unfallchirurg 97: 39 - 46
98. Rüedi T (1973) Fractures of the lower end of the tibia into the ankle joint: results 9 years after open reduction and internal fixation. Injury 5: 130 - 134
99. Rüedi T (1983) Die Frakturen des Pilon tibial. Unfallheilkunde 86: 259 - 261
100. Rüedi T (1984) Intra-articular fractures of the distal tibia. Surg Rounds (November): 85 - 92

101. Rüedi T (1991) Pilon-tibial-Frakturen: What's new? In: Heim U (Hrsg) Die Pilon-tibial-Fraktur. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, S 209 - 215
102. Rüedi T (1993) Treatment of pilon tibial fractures: State of the art. In: Tscherne H, Schatzker J (Hrsg) Major fractures of the pilon, the talus, and the calcaneus. Current concepts of treatment. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, S 3 - 5
103. Rüedi T, Allgöwer M (1978) Spätresultate nach operativer Behandlung der Gelenkbrüche am distalen Tibiaende (sog. Pilon-Frakturen). Unfallheilkunde 81: 319 - 323
104. Rüedi T, Allgöwer M (1979) The operative treatment of intra-articular fractures of the lower end of the tibia. Clin Orthop 138: 105 - 110
105. Rüedi T, Matter P, Allgöwer M (1968) Die intraartikulären Frakturen des distalen Unterschenkelendes. Helv Chir Acta 35: 556 - 582
106. Rüter A (1978) Einteilung und Behandlung der Frakturen des Pilon tibial. Hefte Unfallheilkd 131: 143 - 157
107. Ruwe PA, Randall RL, Baumgaertner MR (1993) Pilon fractures of the distal tibia. Orthop Rev 22: 987 - 996
108. Saleh M, Shanahan G, Fern ED (1993) Intra-articular fractures of the distal tibia: surgical management by limited internal fixation and articulated distraction. Injury 24: 37 - 40
109. Salter RB, Simmonds DF, Malcolm BW (1980) The biologic effect of continuous passive motion on the healing of full thickness defects in articular cartilage. An experimental investigation in the rabbit. J Bone Joint Surg [Am] 62A: 1232 - 1251
110. Schandelmaier P, Stephan C, Krettek C, Tscherne H (2000) Distale Femurfrakturen. Unfallchirurg 103: 428 - 436
111. Scheck M (1965) Treatment of comminuted distal tibial fractures by combined dual-pin fixation and limited open reduction. J Bone Joint Surg [Am] 47A: 1537 - 1553
112. Schmittenebecher PP, Blum J, David S, Knorr P, Marzi I, Schlickewei W, Schonecker G (2004) Die Behandlung von Humerusschaftfrakturen und subkapitalen Humerusfrakturen im Kindesalter. Unfallchirurg 107: 8 - 14

113. Schweiberer L, Betz A, Nast-Kolb D, Bischoff B (1987) Spezielle Behandlungstaktik am distalen Unterschenkel und bei Pilonfraktur. Unfallchirurg 90: 253 - 259
114. Siegel S, Castellan NJ (1988) Nonparametric statistics for the behavioral sciences, Second Edition, McGraw-Hille Book Company, New York...
115. Songis-Mortreux M (1975) Les fractures du pilon tibial. Med. Diss., Lille
116. Stienstra JJ (1994) Intra-articular soft-tissue masses of the ankle. Clin Podiatr Med Surg 11: 371 - 383
117. Suren EG (1983) Nachbehandlungsrichtlinien bei Frakturen mit schwerem Weichteilschaden. Hefte Unfallheilkd 162: 111 - 124
118. Tassler H (1981) Behandlungsprinzipien bei drittgradig offenen Frakturen des distalen Unterschenkels. Unfallheilkunde 84: 509 - 513
119. Teeny SM, Wiss DA (1993) Open reduction and internal fixation of tibial plafond fractures. Clin Orthop 292: 108 - 117
120. Tornetta P, Weiner L, Bergman M, Watnik N, Steuer J, Kelley M, Yang E (1993) Pilon fractures: treatment with combined internal and external fixation. J Orthop Trauma 7: 489 - 496
121. Trentz O, Friedl HP (1993) Critical soft tissue conditions and pilon fractures. In: Tscherne H, Schatzker J (Hrsg) Major fractures of the pilon, the talus, and the calcaneus. Current concepts of treatment. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, S 59 - 64
122. Trojan E, Jahna H (1956) Zur Behandlung der Stauchungsbrüche am distalen Unterschenkelende. Klin Med 11: 313 - 317
123. Tscherne H (1983) Management offener Frakturen. Hefte Unfallheilkd 162: 10 - 31
124. Tscherne H, Rojczyk M (1983) Behandlung geschlossener Frakturen mit Weichteilschaden. Hefte Unfallheilkd 162: 39 - 45
125. Vichard P, Watelet F (1973) Les formes de transition entre les fractures de la malléole interne et les fractures du pilon tibial. Rev Chir Orthop 59: 657 - 665
126. Vidal J, Buscayret C, Fischbach C, Brahin B, Paran M, Escare P (1977) Une méthode originale dans le traitement des fractures comminutives de l'extrémité inférieure du radius: „le taxis ligamentaire“. Acta Orthop Belg 43: 781 - 789

127. Vivès P, Hourlier H, De Lestang M, Dorde T, Letot P, Senlecq F (1984)
Étude de 84 fractures du pilon tibial de l'adulte. Rev Chir Orthop 70: 129 - 139
128. Waddell JP (1993) Tibial plafond fractures. In: Tscherne H, Schatzker J
(Hrsg) Major fractures of the pilon, the talus, and the calcaneus. Current
concepts of treatment. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, S 43 - 48
129. Weber BG (1965) Behandlung der Sprunggelenksstauchungsbrüche nach
biomechanischen Gesichtspunkten. Hefte Unfallheilkd 81: 176 - 179
130. Weber BG (1972) Die Verletzungen des oberen Sprunggelenkes. 2 Aufl.
Huber Verlag, Bern-Stuttgart-Wien
131. Welz K (1982) Besondere Aspekte und Ergebnisse der Behandlung von
Pilon-Tibial-Frakturen. Beitr Orthop u Traumatol 29: 632 - 643

8 Anhang

8.1 Untersuchungsbögen

Fragebogen zur subjektiven Beurteilung (Punktebewertung in Klammern).

Steifigkeitsgefühl	ja (0)	nein (6)
Bewegungsreiben	ja (0)	nein (6)
Wetterfühligkeit	ja (0)	nein (6)
Anlaufschmerz	ja (0)	nein (6)
Belastungsschmerz	unter alltäglichen Belastungen (0)	
	unter starker Belastung (3)	
	nein (6)	
Ruheschmerz	ja (0)	nein (6)
Nachtschmerz	ja (0)	nein (6)
Dauerschmerz	ja (0)	nein (6)
Rückenschmerzen seit Unfall	ja (0)	nein (6)
Medikamenteneinnahme	regelmäßig (0)	selten (3) nein (6)
Gehhilfen	UA-Gehstütze (0)	Gehstock (3) nein (6)
Gangunsicherheit/ebenes Gelände	stark erhöht (0)	
	leicht erhöht (3)	
	unverändert (6)	
Gangunsicherheit/unebenes Gelände	stark erhöht (0)	
	leicht erhöht (3)	
	unverändert (6)	
häufigeres Umknicken	ja (0)	nein (6)
Angst vor Umknicken	ja (0)	nein (6)
Wegstrecke	stark eingeschränkt (0)	
	leicht eingeschränkt (3)	
	unverändert (6)	
Treppensteigen	stark eingeschränkt (0)	
	leicht eingeschränkt (3)	
	unverändert (6)	
Sportfähigkeit	stark eingeschränkt (0)	
	leicht eingeschränkt (3)	
	unverändert (6)	
Arbeit	arbeitsunfähig (0)	
	weniger Belastung/Arbeitswechsel (3)	
	Wiederaufnahme der alten Arbeit (6)	
Schwellung des Beines	tagsüber (0)	abends (3) nein (6)
Sensibilitätsstörungen	ja (0)	nein (6)
Narben schmerzhaft	ja (0)	nein (6)

Narben kosmetisch störend

ja (0)

nein (6)

Gebrauchsfähigkeit des Beines	stark eingeschränkt (0)
	leicht eingeschränkt (3)
	unverändert (6)
Zufriedenheit mit Resultat	unzufrieden (0)
	mäßig zufrieden (3)
	voll zufrieden (6)

Einstufung:	150 bis 101 Punkte	= gut
	100 bis 51 Punkte	= befriedigend
	50 bis 0 Punkte	= schlecht

Äußere Nachuntersuchung

• Rötung der Haut	= minus 6 Punkte
• Störungen der Durchblutung und Hauttrophik	= minus 6 Punkte
• Hautläsionen	= minus 6 Punkte
• Narbenverhältnisse (Keloid)	= minus 6 Punkte
• vergrößerte Fuß- und Unterschenkelkontur	= minus 6 Punkte
• Schwellung	= minus 6 Punkte
• Muskelatrophie	= minus 6 Punkte
• Fehlstellungen im Bereich des Fußes oder Unterschenkels	= minus 18 Punkte
• Druckschmerz	= minus 6 Punkte
• ausgeprägte Sensibilitätsstörungen	= minus 6 Punkte
• Fußbeschwellung (vermindert, asymmetrisch)	= minus 6 Punkte
• Schuhwerk: Einlagen	= minus 6 Punkte
orthopädisches Schuhwerk	= minus 12 Punkte

Schwellung und Muskelatrophie wurden durch Umfangsmessungen im Seitenvergleich an folgenden Stellen festgestellt: 15 cm unterhalb des Kniegelenkspaltes, Fessel, Knöchel, Rist und Ballen. Umgangsdifferenzen unter 1 cm wurden nicht berücksichtigt. Zu den äußerlich sichtbaren Fehlstellungen zählten manifeste Achsenabweichungen, Krallenzehen, Spitzfuß, das Fehlen des Retinaculum extensorum und die ventrale Luxation der Peroneussehne.

Einstufung:	90 bis 61 Punkte	= gut
	60 bis 31 Punkte	= befriedigend
	30 bis 0 Punkte	= schlecht

Bei der **Beweglichkeitsmessung** wurde der Bewegungsumfang im oberen Sprunggelenk und in den angrenzenden Gelenken (unteres Sprunggelenk und Kniegelenk) untersucht. Für das obere Sprunggelenk und das Kniegelenk wurde er anhand der Neutral-Null-Methode (passiv) ermittelt. Für das untere Sprunggelenk wurden die maximale Eversion und Inversion (passiv) zu einem Gesamtwert zusammengefasst und dann in Bruchteilen der normalen Beweglichkeit angegeben. Als Vergleichsbasis diente bei allen Untersuchungen die Gegenseite, und wo dies nicht möglich

war, wurden die Werte in Relation zu üblichen Referenzwerten für das jeweilige Gelenk gesetzt. Die Einstufung basierte nur auf den Messungen im oberen Sprunggelenk.

Einstufung:	Dorsalflexion <i>oder</i> Plantarflexion bis 10 ° eingeschränkt	= gut
	Dorsalflexion <i>oder</i> Plantarflexion über 10 ° eingeschränkt <i>und</i> gesamte Beweglichkeit bis 20 ° eingeschränkt	= befriedigend
	alle größeren Einschränkungen	= schlecht

Für die **Funktionsprüfung** wurden die Patienten gebeten, folgende Übungen barfuß durchzuführen:

- Gehen (mit Begutachtung des Fußabrollens)
- Laufen
- Hockstellung
- Einbeinstand
- Ballenstand
- Ballengang
- Hackenstand
- Hackengang
- Außenkantenstand

Einstufung:	Gehen unbehindert und restliche Übungen seitengleich bzw. leicht eingeschränkt	= gut
	Gehen unbehindert und restliche Übungen stark eingeschränkt, <i>oder</i> Fußabrollen eingeschränkt und restliche Übungen leicht eingeschränkt	= befriedigend
	Fußabrollen eingeschränkt und restliche Übungen stark eingeschränkt, <i>oder</i> Gehen hinkend	= schlecht

Funktionseinbußen wurden bei der Einstufung nur dann berücksichtigt, wenn sie eine Seitendifferenz zuungunsten des verletzten Gelenkes ergaben.

Radiologische Nachuntersuchung

Das Unterschenkelbild der Gegenseite diente dem Vergleich der Tibialänge und wurde nur bei zirkulären Frakturen angefertigt, da bei partiellen Frakturen Verkürzungen nicht zu erwarten sind. Wenn brauchbare Bilder vorhanden waren, wurde auf eine erneute Bildgebung verzichtet. Für die Beurteilung der knöchernen Komplikationen wurden bei Bedarf vorhandene Röntgenbilder, Knochenszintigraphien und Tomographien einbezogen, außerdem histologische Befunde und Operationsberichte.

Implantatversagen – radiologische Zeichen:

- Osteolyse- bzw. Knochenresorptionszonen in der unmittelbaren Umgebung des Osteosynthesematerials
- Breite des Aufhellungssaumes 2 mm oder mehr
- progressive Verbreiterung des Aufhellungssaumes
- periostale Reaktionen, reaktive Knochenbildungen mit Sklerosesaum und Verdickung der Kortikalis
- Migration des Implantats

Ostitis/Osteomyelitis – radiologische Zeichen:

- Knochendestruktion mit Osteopenie (Herabsetzung der Knochendichte)
- unregelmäßig begrenzte Defekte (lokalisierte osteolytische Zerstörungsherde), sichtbar als Aufhellungsbezirk
- reaktive Knochenverdichtungen, grober Knochenumbau mit osteosklerotischen und osteolytischen Zonen
- verwaschene Strukturen
- periostale Knochenapposition
- Eburnisation.

Osteoarthritis – radiologische Zeichen:

- anfangs Gelenkspalterweiterung durch Erguss
- Osteopenie der subchondralen Knochenabschnitte
- Unschärfe bis Schwund der Grenzlamellen mit Aufhellungen (Begleitzysten) der benachbarten Spongiosa
- Gelenkspaltverschmälerung
- Usurierung und Defekte an den Gelenkflächen.

avaskuläre Nekrose – radiologische Zeichen:

- diffuse körnige Verdichtung der Knochensubstanz
- Zusammensinterung des betroffenen Bereiches, eventuell mit lokaler Verbreiterung des Gelenkspaltes
- Zerfall des Knochens mit zystischen Aufhellungen neben verdichteten Arealen, scholliger Zerfall, Knochendeformierung.

Sequester – radiologische Zeichen:

- abgestorbene Knochenpartien von normaler oder verstärkter Dichte, die vom restlichen Knochen abgegrenzt sind
- Demarkierungszeichen: Bildung einer im Vergleich zur umgebenden Knochendichte transparenteren Zone (Granulationsgewebe) um einen Herd
- Bildung eines enossalen Sklerosesaaumes um den Sequester.

Frakturstellung

Für die Berechnung der Tibiallänge wurde der Abstand zwischen dem tibialen Dach des Sprunggelenkspaltes und dem proximalen Rand der Tibia in der Medianebene ausgemessen und mit der Gegenseite verglichen. Die Messung wurde auf den a.-p.-Aufnahmen des Unterschenkels (einschließlich Kniegelenkspalt) von Frakturseite und Gegenseite durchgeführt.

Einstufung:	regelrechte Achsenstellung	
	Kongruenz der Tibiagelenkfläche	= gut
	axiale Dislokation bis 5 Grad	
	Inkongruenzen der Tibiagelenkfläche bis 2 mm	= befriedigend
	Achsenfehlstellungen über 5 Grad	
	Gelenkstufe über 2 mm	
	Klaffen der Malleolengabel ab 2 mm	= schlecht

Arthrose – radiologische Zeichen:

- subchondrale Sklerosierung
- Bildung von Osteophyten
- Gelenkspaltverschmälerung mit Unregelmäßigkeit und Inkongruenz der Gelenkflächen (zu unterscheiden von den posttraumatischen Inkongruenzen, die in die Bewertung der Frakturstellung miteinflussen)
- Deformierung und Verplumpung der Epiphyse
- arthrotische Geröllzysten in Tibia oder Talus

Einstufung:

Arthrosegrad 0	= Sklerose in der Druckaufnahmezone ohne Verschmälerung des Gelenkspaltes
Präarthrose	= Sklerose in der Druckaufnahmezone mit Randwulstbildungen, ohne Verschmälerung des Gelenkspaltes
Arthrosegrad I	= Sklerose in der Druckaufnahmezone mit Randwulstbildungen und geringer Verschmälerung des Gelenkspaltes
Arthrosegrad II	= Sklerose in der Druckaufnahmezone, Randwulstbildungen und eine Verschmälerung des Gelenkspaltes mit Schliffurchen oder Aufrauhungen der subchondralen Knochenlamelle
Arthrosegrad III	= Verschmälerung des Gelenkspaltes, Defekte in der subchondralen Knochenlamelle und zystische Aufhellungen mit Sklerose der angrenzenden Spongiosa

8.2 Definition und Rangskalen der Variablen

Es herrscht bei allen **Variablen** Ordinalskalenniveau.

- **Unfallursache:**

Rang 1 = Sturz zu ebener Erde

Rang 2 = Sturz aus der Höhe

Rang 3 = Verkehrsunfall (Pkw-Insasse)

Rang 4 = direkte Gewalteinwirkung

- Begleitverletzungen

offener Weichteilschaden:

Rang 1 = geschlossen

Rang 2 = 1.-gradig offen

Rang 3 = 2.-gradig offen

Rang 4 = 3.-gradig offen

Rang 5 = 4.-gradig offen

subkutaner Weichteilschaden:

Rang 1 = Schwellung

Rang 2 = ausgeprägtes Weichteilhämatom

Rang 3 = Kontusion der Weichteile

Rang 4 = Kontusion mit Kompartmentsyndrom

- **Frakturklassifikation** (nach dem ABC-Prinzip der AO):

Rang 1 = B1.1

Rang 4 = B2.1

Rang 7 = B3.1

Rang 2 = B1.2

Rang 5 = B2.2

Rang 8 = B3.2

Rang 3 = B1.3

Rang 6 = B2.3

Rang 9 = B3.3

Rang 10 = C1.1

Rang 13 = C2.1

Rang 16 = C3.1

Rang 11 = C1.2

Rang 14 = C2.2

Rang 17 = C3.2

Rang 12 = C1.3

Rang 15 = C2.3

Rang 18 = C3.3

- Osteosynthese

Metall:

Rang 1 = nur Schrauben (mit oder ohne Kirschner-Drähte)

Rang 2 = eine Platte (mit oder ohne Schrauben)

Rang 3 = mehr als eine Platte (mit oder ohne Schrauben)

Spongiosaplastik:

Eine zweite Spongiosaplastik ergab einen höheren Rang, wenn sie in bezug auf ihren Zeitpunkt für Frakturheilung und Entwicklung von Komplikationen noch relevant war.

Rang 1 = einmal

Rang 2 = zweimal

- Komplikationen

avaskuläre Nekrosen:

Rang 1 = nein Rang 2 = ja

Störungen der Frakturheilung:

Rang 1 = regelrechte Frakturheilung

Rang 2 = verzögerte Frakturheilung

Rang 3 = Nonunion

knöcherne Komplikationen:

Alle knöchernen Komplikationen (*avaskuläre Nekrosen, Störungen der Frakturheilung*, außerdem Sequester und Ostitis) pro Fall werden zusammengefasst, der Rang entspricht ihrer Anzahl.

Rang 1 = 1 Komplikation

Rang 2 = 2 Komplikationen

Rang 3 = 3 Komplikationen

Rang 4 = 4 Komplikationen

- Ergebnisse

Der Rang entspricht der Einstufung der klinischen und radiologischen Untersuchungsergebnisse.

subjektiv:

Rang 1 = gut Rang 2 = befriedigend Rang 3 = schlecht

äußerlich:

Rang 1 = gut Rang 2 = befriedigend Rang 3 = schlecht

Beweglichkeit:

Rang 1 = gut Rang 2 = befriedigend Rang 3 = schlecht

Funktion:

Rang 1 = gut Rang 2 = befriedigend Rang 3 = schlecht

Frakturstellung:

Rang 1 = gut Rang 2 = befriedigend Rang 3 = schlecht

Arthrose:

Rang 1 = Stadium 0

Rang 2 = Präarthrose

Rang 3 = Stadium I

Rang 4 = Stadium II

Rang 5 = Stadium III

Gesamtergebnis

Rang 1 = gut Rang 2 = befriedigend Rang 3 = schlecht